

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEILA BAGANHA RABELO

ESTUDO DA VARIABILIDADE DA ESTRUTURA VERTICAL DA  
TEMPERATURA DA ÁGUA E DA PROFUNDIDADE DA  
TERMOCLINA NA REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS

PONTAL DO PARANÁ

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR  
MESTRADO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS

ESTUDO DA VARIABILIDADE DA ESTRUTURA VERTICAL DA  
TEMPERATURA DA ÁGUA E DA PROFUNDIDADE DA  
TERMOCLINA NA REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela aluna Leila Baganha Rabelo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

**Orientador:** Dr. Ronald Buss de Souza

PONTAL DO PARANÁ  
2010

R114      Rabelo, Leila Baganha, 1984-  
Estudo da variabilidade da estrutura vertical da temperatura da água e da profundidade da termoclina na região da confluência Brasil – Malvinas / Leila Baganha Rabelo. - Pontal do Paraná, 2010.  
131 f.: il. (algumas color.); 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronald Buss de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Oceanografia física. 2. Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). 2. Antártica (Região). 3. Temperatura. I. Título. II. Ronald Buss de Souza . III. Universidade Federal do Paraná.

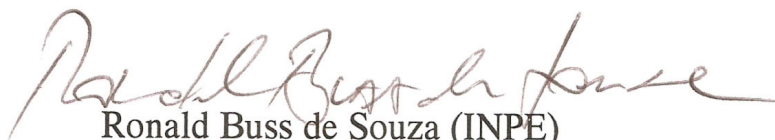
CDD 551.47

*“Estudo da variabilidade da estrutura vertical da temperatura da água e da profundidade da termoclina na região da Confluência Brasil-Malvinas”*

POR

Leila Baganha Rabelo

Dissertação nº 42 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Ronald Buss de Souza (INPE)  
Orientador e Presidente



Dr. Maurício Almeida Noernberg (UFPR/CEM)  
Membro Examinador



Dr. Luciano Ponzi Pezzi (INPE)  
Membro Examinador

Pontal do Paraná, 23 de março de 2010.



## **CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS**

**Centro de Estudos do Mar - Setor Ciências da Terra - UFPR**

Avn. Beira-mar, s/nº - Pontal do Sul - Pontal do Paraná - Paraná - Brasil

Tel. (41)3455-3620 - Fax (41)3455-3623 - www.cem.ufpr.br/pgsisco - E-mail: pgsisco@ufpr.br

### **TERMO DE APROVAÇÃO**

Leila Baganha Rabelo

***“Estudo da variabilidade da estrutura vertical da temperatura da água e da profundidade da termoclina na região da Confluência Brasil-Malvinas”.***

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Ronald Buss de Souza (INPE)

Orientadora e Presidente

Dr. Maurício Almeida Noernberg (UFPR/CEM)

Membro Examinador

Luciano Ponzi Pezzi (INPE)

Membro Examinador

Pontal do Paraná, 23 de março de 2010.

*Aos meus pais, meus irmãos,  
meu noivo e minha avó (in  
memorian).*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de deixar registrada a minha enorme gratidão aos meus pais pelo incentivo durante mais essa etapa da minha vida, principalmente agora no início desse ano de 2010. Agradeço em especial e com muito carinho ao Felipe Denardin Costa, pelos conselhos, aulas de programação, pelas ajudas nos exercícios de física e principalmente por todo carinho, paciência e atenção durante este ano. Obrigada *Benzinho*!

Agradeço ao Dr. Ronald Buss de Souza, pela oportunidade de trabalhar com ele no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Agradeço também ao Dr. Luciano Pezzi e Dr. Maurício Noernberg pelas contribuições dadas a este trabalho.

Agradeço a todos os velhos amigos, que apesar da minha ausência em grande parte deste ano, nunca esqueceram de mim e também aos novos amigos que fiz durante esses dois anos e que muito contribuíram, de forma consciente ou não, para realização deste trabalho: Daphne Spier, Raíssa Nogueira, Mariana Soppa, Mariana Crauss, Lucas Cechin e também ao grupo de Física da Atmosfera da Universidade Federal de Santa Maria. Agradeço ao corpo docente da pós-graduação (PGSISCO), em especial a Dra. Eunice Machado pela atenção enquanto no Centro de Estudos do Mar.

A todos,

Muito Obrigada principalmente por fazerem parte da minha vida!

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a estrutura termal da Corrente do Brasil (CB) e da Corrente das Malvinas (CM) através de medições *in situ* com batitermógrafos descartáveis (XBT). Essas correntes convergem em superfície no Oceano Atlântico Sudoeste, na Confluência Brasil- Malvinas (CBM), considerada uma das mais energéticas do oceano global, em função dos fortes gradientes termais existentes gerando instabilidades locais. A estrutura termal dessas duas correntes foi investigada utilizando dados inéditos adquiridos pelo Navio de Apoio Oceanográfico (NAPoC) Ary Rongel enquanto cruzava a região da CBM em consecutivos anos (2002 a 2008) entre os meses de outubro e novembro. Observações dessa natureza não foram previamente discutidas na literatura, sendo realizadas sobre o escopo do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). A temperatura média superficial da CB estimada com os perfis de XBT foi de aproximadamente 18 °C, enquanto na CM essa temperatura foi de cerca de 8 °C. O maior desvio padrão para a média de temperatura da CB foi de 1,2 °C, ocorrendo a 20 m de profundidade. O maior desvio padrão para a CM foi de 0,7 °C a 40 m. Durante as Operações Antárticas 22 (2003) e 26 (2007), a temperatura da água correspondente a CB apresentou variações nos valores de temperatura em comparação com os outros anos para a mesma área. A profundidade da termoclina se diferenciou, como esperado, para as duas correntes, sendo de aproximadamente 200 m para a CB e 35 para a CM, na média. Foi feito um estudo comparativo entre os dados de XBT coletados *in situ* com os dados do *World Ocean Atlas* 2005 (WOA05), um banco de dados que contém médias climatológicas em escala de 1° x 1° de latitude e longitude em profundidades pré-estabelecidas, para a mesma área de estudo. Analisaram-se as diferenças dos padrões de temperatura, profundidade da termoclina e estrutura vertical da temperatura entre os dois bancos de dados. Os dados do WOA05 apresentaram para a CB uma temperatura média de aproximadamente 17 °C no mês de novembro. Para a CM, essa temperatura foi próxima a 9 °C. A profundidade da termoclina para os dados *in situ* diferenciou-se da média climatológica oriunda do WOA05: na CB essa profundidade foi aproximadamente de 191 m para os dados *in situ* contra aproximadamente 95 m para o WOA05; na CM foi 18,6 m (*in situ*) contra 22 m (WOA05), aproximadamente. Os resultados encontrados nesse estudo podem ser úteis para futuros estudos sobre a variabilidade da profundidade da termoclina na região da CBM e seus impactos sobre os fluxos de calor e CO<sub>2</sub> nessa região do Oceano Global.

**PALAVRAS-CHAVE:** ESTRUTURA VERTICAL DE TEMPERATURA, XBT, PROGRAMA ANTÁRTICO BRASILEIRO, *WORLD OCEAN ATLAS* 2005.



## ABSTRACT

This work presents a study on the vertical thermal structure of the Brazil Current (BC) and the Malvinas Current (MC) based upon *in situ* measurements taken by Expandable-Bathythermographs (XBTs). These currents converge at the Southwestern Atlantic Ocean at the Brazil-Malvinas Confluence (BMC), considered one of the most energetic regions of the World Ocean, due its strong temperature gradients and local instabilities. The thermal structure of these two currents was investigated using unpublished data taken by the Brazilian Navy Oceanographic Support Ship (OSS) Ary Rongel while crossing the BMC in consecutive years (2002 to 2008) between the months of October and November. The observations were not previously discussed in the literature to our understanding, being carried out under the umbrella of the Brazilian Antarctic Program (PROANTAR). The average surface temperature of the BC estimated from the XBT profiles was approximately 18 °C while in the MC this temperature was about 8 °C. The largest standard deviation for the BC mean temperature profile for was 1.2 °C, occurring at 20 m depth. The MC's largest standard deviation was of 0.7 °C at 40 m depth. During the Antarctic Operations (OP) 22 (2003) and 26 (2007), the water temperature corresponding to the BC region presented temperature values lower in comparison to other years for the same area. BC and MC, as expected, differ in relation to their thermocline depth, which was about 200 m for the BC and 35 for the MC, in mean. A study was also conducted to compare the OP's *in situ* database with data from World Ocean Atlas 2005 (WOA05), which contains climatological averages on a scale of 1 ° x 1 ° latitude and longitude in a pre-established depth, for the same study area. There were analyzed the differences in patterns of temperature, depth of the thermocline and the vertical structure of temperature between the two databases. The average temperature of BC, with data from WOA05, for the month of November, was about 17 ° C, while for the MC was almost 9 ° C. The depth of the thermocline for the *in situ* data differed from the climatological average extracted from the WOA05: in the BC the thermocline depth was approximately of 191 m with the *in situ* data collected, against 95 m depth for the WOA05; in the MC, the thermocline depth was of 18.6 m (*in situ*) against 22 m (WOA05), approximately. The results found in this study may be useful for future studies on the variability of thermocline depth in the area of BMC and its impact on flows of heat and CO<sub>2</sub> at that Global Ocean region.

KEY WORDS: TEMPERATURE, VERTICAL STRUCTURE, XBT, BRAZILIAN ANTARTIC PROGRAM, WORLD OCEAN ATLAS 2005.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XXII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>XXV</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Área de estudo.....	5
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Caracterização da área de estudo.....	7
2.1.1 Corrente do Brasil.....	9
2.1.2 Corrente das Malvinas.....	10
2.2 Estrutura vertical dos oceanos.....	12
2.2.1 Camada superficial.....	12
2.2.2 Termoclina.....	14
2.2.3 Camada Profunda.....	15
2.3 Estrutura dinâmica dos Oceanos.....	15
2.3.1 Correntes Oceânicas de Superfície: Geradas pelo vento.....	16
2.3.2 Correntes Oceânicas Profundas: Circulação Termohalina.....	16
2.3.3 Frentes Oceânicas.....	17
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1 Batitermógrafo Descartável (Expandable BathyThermograph) – XBT.....	21
3.1.1 Posição de lançamento dos XBTs.....	22
3.2 Dados.....	23
3.2.1 Dados <i>in situ</i> das Operações Antárticas.....	23
3.2.2 Dados do <i>World Ocean Atlas</i> 2005 (WOA05).....	26
3.2.3 Análise de consistência dos dados.....	28

3.2.4 Perfis e médias de temperatura.....	29
3.2.5 Comparação entre os dados das OPs e do WOA05.....	30
3.2.6 Determinação da Profundidade da termoclina.....	30
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
4.1 Operações Antárticas.....	34
4.1.1 Operação Antártica 21(2002).....	34
4.1.2 Operação Antártica 22 (2003).....	39
4.1.3 Operação Antártica 23 (2004).....	44
4.1.4 Operação Antártica 24 (2005).....	48
4.1.5 Operação Antártica 25 (2006).....	53
4.1.6 Operação Antártica 26 (2007).....	57
4.1.7 Operação Antártica 27 (2008).....	62
4.1.8 Temperatura média superficial das águas da CB e da CM.....	66
4.2 Perfis horizontais e verticais de temperatura do WOA05.....	68
4.3 Variação da profundidade da termoclina.....	79
4.3.1 Profundidade da termoclina das operações antárticas 21 a 27.....	81
4.3.2 Profundidade climatológica da termoclina.....	83
4.4 Comparações dos dados das Operações Antárticas com os dados do WOA05.....	87
4.4.1 Comparação entre os perfis médios de XBT e WOA05 na CB.....	88
4.4.2 Comparação entre os perfis médios de XBT e WOA05 na CM.....	107
4.4.3 Comparação da profundidade da termoclina obtida com os dados das OPs com os dados do WOA05.....	116
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 6 – TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>122</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>123</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Representação esquemática do encontro da Corrente do Brasil com a Corrente das Malvinas na região Sudoeste do Atlântico Sul. Fonte: Adaptado Saraceno <i>et al.</i> (2004).....	5
Figura 2.1: Diagrama T-S com dados na posição 19 °S (círculos) e da região do largo de Cabo Frio (cruzes). Adaptado de Evans et al., (1983).....	10
Figura 2.2: Formação e desaparecimento da termoclina em função da sazonalidade. Fonte: Adaptado de Stewart (2004).....	14
Figura 2.3: Perfil de temperatura em função da profundidade de uma estação realizada durante a OP27 com a presença de <i>Interleavings</i> . Os círculos vermelhos indicam os acamamentos.....	18
Figura 2.3: Esquematização de vórtices de núcleo frio (“cold ring”) e de núcleo quente (“warm ring”), no hemisfério sul, enfatizando a variação da profundidade da termoclina. Fonte: Adaptado de Souza (2005).....	21
Figura 3.1: Ilustração de um sistema de perfilagem XBT: projétil, o lançador e um receptor acoplado ao computador (Fonte: adaptado de <a href="http://www.sippican.com/seaair/xbt.php">http://www.sippican.com/seaair/xbt.php</a> )....	22
Figura 3.2: Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rogel.....	25
Figura 3.3: Comparação entre diferentes resoluções verticais para o perfil médio de temperatura da CB em função da profundidade (conforme a legenda) com dados obtidos durante a OP 27.....	29
Figura 3.4: Perfil de temperatura obtido durante a OP 27. Determinação da profundidade da base da camada isothermal através do método desenvolvido por Kara <i>et al.</i> (2000).....	32

Figura 4.1: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP21. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....	35
Figura 4.2: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP21. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....	36
Figura 4.3: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT durante a OP21. (a) Vórtice de núcleo quente; (b) CM.....	37
Figura 4.4: Perfil médio de temperatura para a CM (linha sólida) para dados coletados durante a OP21. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....	38
Figura 4.5: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP22. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....	39
Figura 4.6: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP22. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....	41
Figura 4.7: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP22. (a) CB; (b) CM.....	42
Figura 4.8: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP22. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....	43
Figura 4.9: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP23. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....	44
Figura 4.10: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP23. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....	45
Figura 4.11: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP23. (a) CB; (b) CM.....	46

- Figura 4.12: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP23. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....48
- Figura 4.13: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP24. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....49
- Figura 4.14: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP24. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....50
- Figura 4.15: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP24. (a) CB; (b) CM. O círculo destaca a termoclina sazonal.....51
- Figura 4.16: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP24. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....52
- Figura 4.17: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP25. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....53
- Figura 4.18: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP25. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....54
- Figura 4.19: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP25. (a) CB; (b) CM.....55
- Figura 4.20: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP25. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....57
- Figura 4.21: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP26. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....58

Figura 4.22: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP26. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....	59
Figura 4.23: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP26. (a) CB; (b) CM.....	60
Figura 4.24: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP26. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....	61
Figura 4.25: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP27. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.....	63
Figura 4.26: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP27. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.....	64
Figura 4.27: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP27. (a) CB; (b) CM.....	65
Figura 4.28: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP27. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.....	66
Figura 4.29: Médias de temperatura da CB, CM e perfis coletados em região intermediária entre as duas correntes obtidos com os dados provenientes das OP21 – OP27.....	68
Figura 4.30: Mapas climatológicos de TSM para a região da CBM obtidos a partir dos dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro. Em asteriscos escuros estão as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), do ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W).....	70

Figura 4.31: Seções de alta resolução obtidas a partir de dados do WOA05. Para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral outubro a dezembro.....	74
Figura 4.32: Perfis de temperatura representando a média histórica dos pontos demarcados na Figura 4.30 para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro.....	76
Figura 4.33: Variação média da profundidade da termoclina para a CB durante as OPs 21 a 27. Desvio padrão está indicado pelas barras verticais.....	82
Figura 4.34: Variação média da profundidade da termoclina para a CM durante as OPs 21 a 27. Desvio padrão está indicado pelas barras verticais.....	83
Figura 4.35: Perfis de temperatura referentes a média história de temperatura na região da CBM.....	84
Figura 4.36: Comparação dos perfis médios de temperatura da CB entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.....	90
Figura 4.37: Diferença entre os perfis médios de temperatura da CB com os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro.....	93
Figura 4.38: Temperatura média com respeito a profundidade das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto B, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro.....	97
Figura 4.39: Comparação dos perfis médios de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto I, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.....	99



Figura 4.40: Diferença entre as médias de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e o ponto I com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro...102

Figura 4.41: Temperatura média das OP22 e 26 com respeito a profundidade versus a temperatura média climatológica para o ponto I, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.....105

Figura 4.42: Comparação dos perfis médios de temperatura da CM entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto M, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.....108

Figura 4.43: Diferença entre as médias de temperatura da CM com os dados das OPs e o ponto M com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.....111

Figura 4.44: Temperatura média da CM com respeito a profundidade, das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto M, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro.....114

Figura 4.45: Variação anual da profundidade da termoclina para a região da CBM, calculada a partir de dados coletados durante as OP21 a 27. A linha inferior representa a variação da profundidade da termoclina da CB e a linha superior indica a variação anual para CM.....117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Esquematização dos modelos de Batitermógrafos descartáveis, suas aplicações e respectivos limites de profundidade.....	19
Tabela 3.2: Quantidades de estações de lançamento e número de XBTs nas OPs 21 a 27.....	26
Tabela 3.3: Relação do número de dados observados dentro de um ponto de 1° x 1° de latitude e de longitude no ponto B, no ponto M nas diversas profundidades oceanográficas pré-estabelecidas.....	27
Tabela 4.1: Profundidade da termoclina para cada perfil dos pontos B, I e M. Os pontos em vermelho correspondem ao ponto B, I e M do perfil de temperatura da Figura 4.35 (a – d).....	87
Tabela 4.2: Apresentação esquemática dos valores de temperatura média obtidos com os dados das OPs para as águas da CB e da CM, com seus respectivos desvios padrão. Em “Obs.” encontra-se a profundidade em que foi encontrado o maior valor de desvio padrão, e este valor propriamente dito.....	88
Tabela 4.3: Apresentação esquemática dos valores de temperatura média obtidos com os dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral entre out. a dez. para o ponto B e para o ponto M com seus respectivos desvios padrão. Em “Obs.” encontra-se a profundidade em que foi encontrado o maior valor de desvio padrão, e este valor propriamente dito.....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
AT	Água Tropical
ATS	Oceano Atlântico Sul
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil - Malvinas
CCA	Corrente Circumpolar Antártica
CG	Corrente do Golfo
CM	Corrente das Malvinas
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSE	Corrente Sul Equatorial
EUA	Estados Unidos da América

FURG	Universidade Federal do Rio Grande
GOAL	Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INTERCONF	Estudo da Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas
NAPoc	Navio de Apoio Oceanográfico
NODC	National Oceanographic Data Center
ODV	Ocean Data View
OP	Operação Antártica
OP21	Operação Antártica 21
OP22	Operação Antártica 22
OP23	Operação Antártica 23
OP24	Operação Antártica 24
OP25	Operação Antártica 25
OP26	Operação Antártica 26
OP27	Operação Antártica 27

PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
SOS-CLIMATE	Southern Ocean Studies for Understanding Global Climate Issues
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USP	Universidade de São Paulo
WDC	World Data Center
WOA 2005	World Ocean Atlas 2005
XBT	Batitermógrafo Descartável (Expendable Bathythermograph)

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta T$	Variação de temperatura
$T_{\text{ref}}$	Temperatura de referência
$T_b$	Temperatura do topo da termoclina
$Z_b$	Profundidade da termoclina
$r$	Raio do vórtice
$h_{\text{vórtice}}$	Altura do vórtice (profundidade)
$V_{\text{vórtice}}$	Volume do vórtice

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O Planeta é aquecido de forma desigual pelo sol, resultando diferentes temperaturas em função da variação do ângulo de incidência de radiação nas diversas latitudes. Este aquecimento ocorre com maior intensidade na região do Equador e menor nos pólos. A região equatorial é a parte mais aquecida do planeta e a transferência de calor entre as distintas regiões ocorre através das correntes de ar e oceânicas. Os mares e continentes absorvem cerca de metade dessa energia e a conservam temporariamente na superfície, sendo que parte dela também é absorvida pela atmosfera. Essa troca de calor é essencial para a regulação do clima no planeta (Baptista, 2000; Stewart, 2004).

Por se tratar de um importante reservatório de calor no sistema climático, é muito importante estudar as variações de temperatura nas camadas superiores dos oceanos, compreendendo assim melhor como funciona seu sistema de trocas com a atmosfera e circulação oceânica de grande e meso-escala. Sabe-se que os oceanos levam tanto calor para os pólos quanto a própria atmosfera, porém, por estarem sujeito a escalas de tempo bem maiores, funcionam como um mecanismo de amortecimento para as rápidas flutuações no nosso clima. Logo, a maioria das mudanças numa longa escala temporal podem estar relacionadas ao oceano, conforme este libera lentamente o calor armazenado proveniente de rápidas mudanças climáticas que ocorrem na atmosfera (Stewart, 2004).

Essas trocas de propriedades, incluindo sal além do calor, geralmente ocorrem em uma camada superficial do oceano que na maior parte do ano não ultrapassa 150 m de profundidade, a chamada camada de mistura (Tomczak & Godfrey, 1994). Trata-se de uma região de águas bem misturadas, caracterizada por um regime turbulento em função da ação de ondas e da tensão de cisalhamento do vento atuando em superfície (Pereira *et al.*, 1988).

Alguns estudos recentes apontam para regiões de grande contraste termal longe da região equatorial, como a da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) no Oceano Atlântico Sudoeste,

como sendo grandes contribuintes no aumento do fluxo vertical de energia dinâmica e termodinâmica entre o oceano e a atmosfera (Pezzi *et al.*, 2009).

Lentini *et al.*, (2000), realizaram uma análise de variabilidade temporal e espacial do ciclo sazonal de TSM utilizando treze anos de dados, obtendo uma amplitude deste ciclo de 4 °C a 13 °C ao longo da plataforma continental no Oceano Atlântico Sudoeste (ATS). Os autores colocam que a maior parte dessa variação é devida ao aumento do transporte da CB (CM) durante o verão (inverno), o que contribuiria para as grandes amplitudes de TSM encontradas na região adjacente ao Rio da Prata.

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) vem sendo estudada como uma das variáveis mais importantes na troca de calor oceano-atmosfera e, conseqüentemente, na previsão das variações climáticas remotas e/ou locais (Hastenrath, 1991; Nobre & Shukla, 1996). O entendimento sobre a dinâmica dos oceanos não apenas se faz importante para modelagem e previsão climatológicas, mas também para uma melhor compreensão dos ecossistemas marinhos.

Chhak e Di Lorenzo (2007) relatam que anomalias na TSM podem afetar a estratificação oceânica alterando assim fluxos verticais de nutrientes, sais e calor e influenciando também na produção biológica.

Signorini *et al.*, (2006), analisaram séries temporais de clorofila-a, calcita e imagens de TSM obtidas por sensores em satélites (SeaWiFS and AVHRR) a fim de estudar o tempo e duração das florações de cocolitoforídeos na região da plataforma da Patagônia e obtiveram como resultado que o início dessas florações ocorria em novembro, após uma depleção de nutrientes e quando a camada de mistura se encontrava a menos de 40 m de profundidade, chegando a um pico em Janeiro quando esta alcançava 18 m.

A região oeste do Oceano Atlântico Sul (ATS) é tida como uma das mais energéticas do Oceano Global. É uma área conhecida pela formação e subducção da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que se espalha pelo Oceano Atlântico Sul. Em algumas regiões da



costa brasileira, dependendo da intensidade e tempo de ação dos ventos de nordeste, ocorre a ressurgência da ACAS, fazendo com que a região se torne mais produtiva em função da ressuspensão dos nutrientes, outrora em profundidade, até a costa (Pezzi & Souza, 2009).

Um dos métodos mais antigos para medir a estrutura termal dos oceanos é através do lançamento de Batitermógrafos descartáveis (“*Expandable Bathithermographs*”- XBTs) que são utilizados na aquisição de dados de temperatura da água do mar em função da profundidade. O XBT é o instrumento mais barato, simples e de fácil manuseio entre todos os instrumentos disponíveis para medir a temperatura das camadas superiores do oceano, podendo ser lançado a partir do navio, com esse em movimento, ou mesmo a partir de aviões ou helicópteros (Thadathil *et al.*, 2001).

O banco de dados históricos de XBT é o maior banco de dados oceânicos disponível na atualidade, sendo amplamente utilizado pela comunidade oceanográfica mundial (Thadathil *et al.*, 2001). Infelizmente, para a região do Oceano Atlântico Sudoeste (ATS) e, especialmente, para a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), os dados históricos de XBT foram pouco explorados até o presente momento. É necessário conhecer mais sobre as estruturas internas dos oceanos e seus parâmetros de distribuição de temperatura vertical, especialmente falando sobre a profundidade da termoclina, caracterizada por uma abrupta variação de temperatura, uma camada que marca o limite entre a camada superficial e águas profundas ricas em nutrientes.

Muitos estudos têm dedicado uma atenção considerável sobre o efeito que a TSM exerce sobre as modulações climáticas na interface oceano-atmosfera na região sudoeste do ATS (Garzoli, 1999; Waluda *et al.*, 1999; Dong *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2006; Pezzi *et al.*, 2009), entretanto, poucos são os estudos dedicados a estrutura termal dessa região. Questões importantes a serem respondidas incluem: Como se comporta a variabilidade espacial e temporal da termoclina da região da CBM? Qual a média de temperatura esperada e encontrada nas correntes marinhas que se encontram ali? Os valores condizem com a média registrada em um banco de dados histórico?

Este trabalho foi desenvolvido no escopo do projeto SOS-Climate (*Southern Ocean Studies for Understanding Global Climate Issues*), parte integrante do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Entre outros objetivos desse projeto, espera-se contribuir para um melhor entendimento das teleconexões climáticas e de tempo entre os ambientes antártico, subantártico e subtropical, com ênfase na região da CBM. Através de projetos interligados ao PROANTAR, como o SOS-CLIMATE e o INTERCONF, são realizadas coletas regulares de dados de XBTs na região da CBM.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é analisar a variabilidade horizontal e vertical da temperatura e a profundidade da termoclina para a CB e para a CM na região CBM com dados obtidos durante as Operações Antárticas (OPs) entre os meses de outubro a novembro durante os anos de 2002 a 2008.

Para atingir o objetivo geral, incluem-se como objetivos específicos:

- Verificar os padrões e variações da estrutura horizontal e vertical da temperatura da água do mar na região da CBM com dados coletados *in situ* durante as OPs;
- Verificar os padrões da profundidade da termoclina nas regiões sob domínio da CB e da CM com dados coletados *in situ* durante as OPs;
- Fazer comparação entre os resultados obtidos com dados coletados *in situ* durante as OPs, com a climatologia da área obtida a partir de dados disponíveis no WOA05.

## 1.2 Área de estudo

A área desse estudo está compreendida entre os paralelos 30 °S e 50 °S e entre os meridianos 50 °W e 60 °W (Figura 1.1), na região sudoeste do Atlântico Sul. Essa área é recoberta desde 2002 através de projetos como SOS-CLIMATE, INTERCONF, além de outros. Dados de XBT estão disponíveis para várias OPs e serão apresentados posteriormente neste trabalho.

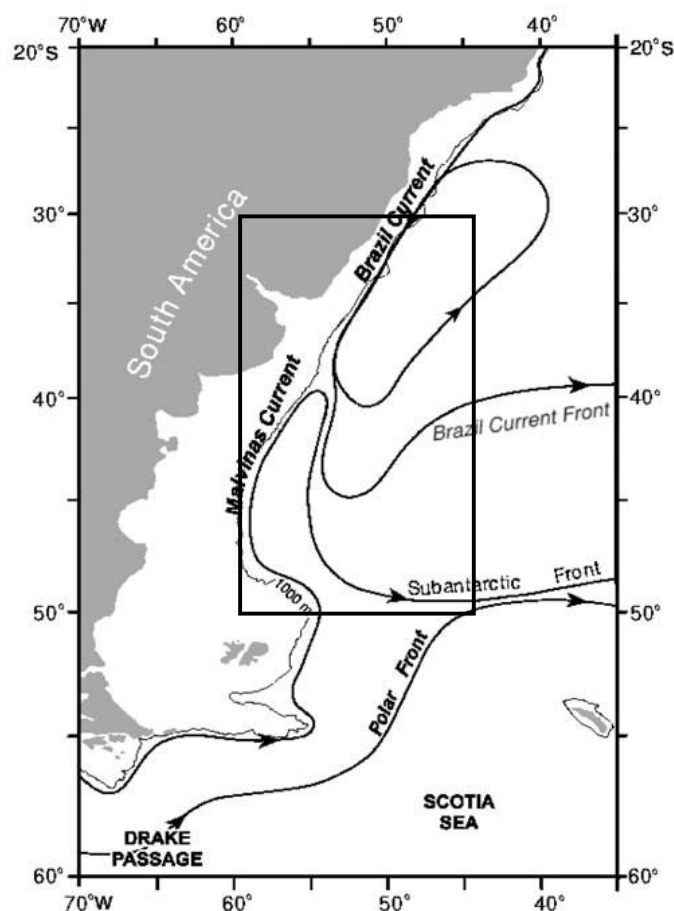


Figura 1.1: Representação esquemática do encontro da Corrente do Brasil com a Corrente das Malvinas na região Sudoeste do Atlântico Sul. Fonte: Adaptado Saraceno *et al.* (2004).

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: no Capítulo 1 está apresentada a Introdução do trabalho, a determinação dos objetivos gerais e específicos e a delimitação da

área de estudo, no Capítulo 2 são apresentadas a Fundamentação Teórica bem como a caracterização da área de estudo. No Capítulo 3 são apresentados os materiais utilizados para aquisição dos dados de temperatura da água do mar e a metodologia aplicada nas diversas etapas no desenvolvimento deste trabalho. No Capítulo 4 são exibidos e discutidos os resultados de acordo com as metodologias propostas no capítulo 3. No Capítulo 5 são feitas as conclusões do trabalho e no Capítulo 6 são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 Caracterização da área de estudo

A Corrente Sul Equatorial (CSE) flui na região Equatorial no sentido Leste-Oeste, como parte de um sistema de giro fechado, com sentido de rotação anti-horário, o chamado Giro Subtropical do Atlântico Sul, ao encontrar com a costa nordestina do Brasil, por volta das latitudes 8°-10°S, ocorre uma bifurcação formando a Corrente Norte do Brasil (CNB), que segue margeando o norte do País, e a Corrente do Brasil (CB) que acompanha a costa nordeste do continente brasileiro em sentido sul, até que na área sudoeste do ATS, por volta de 39 °S, se encontra com a Corrente das Malvinas (CM), que flui em sentido oposto. O encontro da CB com a CM caracteriza a Frente oceanográfica conhecida como Convergência Subtropical que, na sua região oeste, se localiza sobre a CBM (Legeckis *et al.*, 1982; Piola & Matano, 2001).

Devido aos seus contrastes termohalinos e conseqüente intensificação dos fluxos de energia e *momentum*, a região de encontro da CM e da CB é conhecida como uma das mais dinâmicas e energéticas do mundo. Essa região é caracterizada pela alta variabilidade de transportes, da TSM, da concentração de clorofila e da altura da superfície do mar (Pezzi *et al.*, 2009). Na CBM ocorrem grandes instabilidades que vão dominar a variabilidade de mesoescala da região dominada por meandros e vórtices (Dourado *et al.*, 2006; Russo *et al.*, 2008). A formação de tais feições ocorre com maior intensidade próxima a região do talude, e vai decaindo conforme se afasta rumo ao oceano aberto. (Campos & Olson, 1991).

Um estudo feito por Fu (1996), através da análise de 18 meses de missão do satélite altímetro TOPEX/Poseidon, reportou que as grandes variabilidades energéticas da CBM ocorrem em mesoescala (~100 km e 100 dias) e estão relacionadas a vórtices. Tais variabilidades são encontradas tanto em escalas anuais como semianuais na região da CBM assim como na da corrente das Agulhas, do outro lado do ATS (Souza *et al.*, 2006). A

posição da CBM é caracterizada por uma variabilidade típica em escala sazonal a interanual, chegam a se deslocar até 500 km (38 °S – 42 °S) entre o inverno (mais ao norte) e verão (mais ao sul) (Provoste *et al.*, 1992; Matano *et al.*, 1993).

Essa região é caracterizada por gradientes de TSM e clorofila bem pronunciados (Garcia *et al.*, 2004). De acordo com Souza (2000) e Souza e Robinson (2004), os gradientes termais horizontais entre a CB e a CM, independentes da variabilidade sazonal da posição da frente, são geralmente próximos a  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ .

Após convergirem, a CB e a CM se separam da costa fluindo para o interior do oceano Atlântico, formando uma série de meandros. Através de estudos estatísticos, Olson *et al.* (1988) determinaram uma latitude média de 35,8 °S e 38,8 °S como sendo o ponto de separação da CB e da CM da costa, respectivamente. Apesar desse distanciamento, a CB continua fluindo para sul até as latitudes de 40 °S a 45 °S, onde sofre retroflexão. Esta separação, assim como a posição média da CBM, pode variar de latitude sazonalmente, estando mais ao norte durante o inverno austral e mais ao sul durante o verão (Silveira *et al.*, 1994; Lentini & Souza 2005, Castro *et al.*, 2006).

As razões diretas que determinam a região de separação da CB e CM da costa são objeto de corrente estudo. Garzoli e Garraffo (1989) e Peterson e Stramma (1991) por exemplo, apontam para possíveis relações com o sistema atmosférico de alta pressão subtropical do Atlântico Sul. Esse sistema durante o inverno sofre uma realocação do seu centro mais para o norte em relação ao verão. Isso influencia na posição da Corrente Sul Equatorial, que se posiciona também mais ao norte, e causaria uma retração da CB ou diminuição do seu transporte.

O melhor entendimento sobre variabilidade dos campos de temperatura da água do mar no oceano Atlântico Sudoeste, especialmente na região da CBM, se faz necessário para avaliar as tendências e ciclos desse parâmetro nas distintas correntes que se encontram na região da CBM. Dados históricos de XBT podem ser empregados para conhecer o comportamento das águas que produzem a frente entre a CB e a CM, tanto horizontal como verticalmente.

A seguir são apresentadas as características da CB e CM.

### **2.1.1 Corrente do Brasil**

A CB é uma corrente de contorno Oeste quente e rasa, formada e desenvolvida ao largo da costa brasileira (Stramma 1991; Silveira *et al.* 2000). Entretanto, é considerada uma corrente fraca, se comparada com a Corrente do Golfo (CG), uma outra corrente de contorno oeste que faz parte do giro do Atlântico Norte.

As correntes de contorno oeste são caracterizadas por fluxos intensos, estreitos e bem definidos, fluindo ao largo de margens continentais (Castro, 2006). Para explicar as diferenças de transporte entre a CB e a CM, Stommel (1965) usou a explicação do sentido das componentes do transporte das correntes geradas pelo vento e circulação termohalina. No caso da CG, essas componentes se somariam. O oposto ocorre pra CB e isso a torna mais fraca.

O transporte da CB entre 33 °S e 38 °S de latitude varia de 15 a 60 Sv (Maamaatuaiahutapu *et al.*, 1998). Gordon e Greengrove (1986), ao investigar a zona de confluência, encontraram um valor de 19 Sv para a latitude de 38 °S, para uma profundidade de 1400 m. Eles também estimaram que a taxa de crescimento da CB ocorre em 5% a cada 100 km, no sentido ao sul. Posteriormente, esse valor foi confirmado por Assireu (2003).

Com base em um critério dinâmico, seguindo a definição de Wüst (1935), a CB, como uma corrente de contorno oeste, requer um transporte de Sverdrup para completar o balanço de massa gerado pelo vento no Giro Subtropical, por isso seu transporte se dá apenas nos níveis superiores do oceano, carregando a Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Cirano *et al.*, 2006).

A AT é formada e adquire sua temperatura na região equatorial, apresentando valores maiores que 20 °C e uma profundidade alcançando até 200 m. Flui pelo talude continental e nas proximidades da quebra da plataforma. Por volta de 20 °S, a CB recebe a contribuição

da ACAS, uma água mais fria com temperaturas entre 6 °C e 20 °C, e aos 28 °S torna-se mais profunda chegando a 750 m. A ACAS é formada na região da CBM, se espalhando pelo interior do ATS como parte do giro subtropical. Ao encontrar com a costa sul-americana, ela sofre bifurcação e uma parte flui no sentido do equador, enquanto outra flui rumo ao sul (Emilsson, 1961; Evans & Signorini, 1985; Peterson & Stramma, 1991; Campos *et al.*, 1995; Castro *et al.*, 2006).

A Figura 2.1 apresenta um diagrama T-S da CB de duas regiões de latitude mais ao norte em relação a região da CBM, a 19 °S e ao largo de Cabo Frio. É possível notar as características da AT, com águas mais quentes e salinas, e imediatamente abaixo a ACAS, com um intervalo maior de temperatura e salinidade. Abaixo desta, encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Essas duas últimas, como já falado anteriormente, não são consideradas como integrantes da CB.

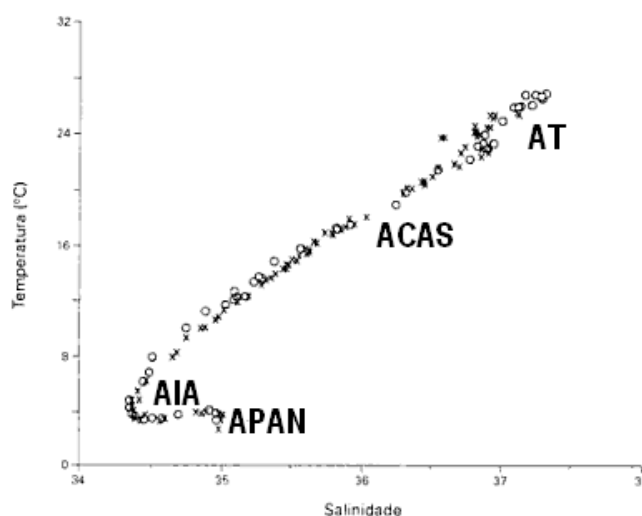


Figura 2.1: Diagrama T-S com dados na posição 19 °S (círculos) e da região do largo de Cabo Frio (cruzes). Adaptado de Evans *et al.*, (1983).



O critério baseado por Olson *et al.* (1988) para definir o limite entre águas subtropicais da CB e da CM, ao norte de 38 °S, foi a isoterma de 16 °C, o que os autores consideraram uma temperatura muito alta para qualquer água da zona subantártica.

### **2.1.2 Corrente das Malvinas**

O ATS se limita com o Oceano Austral pela Frente Polar, também conhecida como Convergência Antártica, onde águas superficiais são transportadas para Leste por um sistema de correntes que formam a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) (Sarukhanyan, 1987). A formação da CM se dá por uma ramificação da CCA que é gerada durante o seu percurso pela Passagem de Drake e flui no sentido do equador, acompanhando a isóbata de 1000 m. O transporte desta corrente a 45 °S é de 50 Sv (Saunders & King, 1995).

Pickard (1974), indica que a CM é composta por Água Superior Subantártica nos primeiros 400 m com temperatura variando de 4 °C a 14 °C (mínima de inverno e máxima de verão). Provost *et al.*, (1992) apontam um valor de 10 °C encontrado no núcleo da CM. Piola e Matano (2001) citam que os níveis superiores da CM contém Água Subantártica com temperaturas inferiores a 15 °C.

Ikeda *et al.*, (1989), consideraram como a parcela de escoamento da CM na região da CBM as águas caracterizadas por temperaturas variando de 10 °C a 12 °C a 30 m de profundidade. Esses valores são superiores aqueles encontrados na CCA fluindo no sentido do Equador a partir da Passagem de Drake, entretanto, são considerados os valores mais baixos associados a Frente Subtropical. Neste trabalho, serão consideradas águas pertencentes a CM aquelas que apresentarem valores de temperatura superficial inferiores a 14 °C.

Abaixo da água superior subantártica encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA). A AIA é formada na região da Divergência Antártica, dentro do Oceano Austral, quando a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) é soerguida até 200 m e aquece a água superficial antártica. O fenômeno causa derretimento do gelo marinho antártico, mudando

assim, a assinatura da massa de água. Essa passa a ser conhecida como AIA, com uma espessura de 500 m e temperaturas variando entre 3 °C e 6 °C (Tomczak & Godfrey, 1994).

Após a convergência com a CB, o principal fluxo da CM retorna sofre retroflexão e, na forma de um “*loop*”, ela flui novamente sentido sul até que aos 49 °S ela passa a fluir para leste (Saraceno *et al.*, 2004),

## **2.2 Estrutura vertical dos oceanos**

Os oceanos podem ser divididos verticalmente em 3 partes: uma camada superficial caracterizada por forte homogeneidade; uma intermediária caracterizada por grandes gradientes verticais de temperatura, salinidade e densidade; e uma camada profunda, na qual tais propriedades variam lentamente com a profundidade. Tais camadas podem ser caracterizadas através do comportamento vertical da temperatura, salinidade e densidade (Pickard & Emery, 1990).

### **2.2.1 Camada superficial**

A camada superficial dos oceanos é também chamada Camada de mistura. Essa é a camada oceânica que está em contato direto com a atmosfera. Ela desempenha um papel vital nas alterações climáticas, bem como no próprio ecossistema marinho (Noh & Lee, 2008). Vale acrescentar que quase todas as atividades biológicas que ocorrem nos oceanos se passam dentro da zona eufótica, compreendida dentro da camada de mistura. Como consequência, um melhor entendimento dessa região auxilia os estudos biológicos de maneira geral (Morel & André, 1991).

A influência da atmosfera na estrutura vertical dos oceanos ocorre basicamente na camada de mistura. Devido a entrada de energia na forma de calor, proveniente da radiação solar, o cisalhamento do vento e a formação de ondas, se proporciona um grande fluxo turbulento entre a atmosfera e o oceano. Este fluxo determina a grande mistura típica da camada,

acarretando uma homogeneidade de propriedades, tais como temperatura, salinidade e densidade (Tomczak & Godfrey, 1994).

Inicialmente, acreditava-se que tais propriedades eram igualmente homogêneas com respeito a profundidade, dentro da camada de mistura. Estudos como os de Lukas e Lindstrom (1991) e Sprintall e Tomczak (1992) mostraram a existência de uma camada isohalina (camada com salinidade homogênea) mais rasa que a camada isothermal (camada com temperatura homogênea) na região oeste do Oceano Pacífico Equatorial e, em função disso, a camada de mistura (que é definida a partir da densidade) torna-se mais rasa que a camada isothermal.

A distância que separa a base da camada de mistura da base da camada isothermal (topo da termoclina) é a chamada Camada Barreira (Sprintall & Tomczak, 1992). Abaixo da camada superficial existe uma região caracterizada por variações na densidade (picnoclina), salinidade (haloclina) e temperatura (termoclina). Desde que não haja a existência da camada barreira, o topo das 3 camadas são coincidentes.

Como neste estudo são usados dados de XBT, que contém somente a informação da variação da temperatura com a profundidade, a estruturação vertical do oceano será analisada a partir de sua temperatura unicamente, ou seja, buscando a determinação das regiões isotermas e da termoclina.

### 2.2.2 Termoclina

Abaixo da camada isothermal se encontra uma região com o máximo gradiente de temperatura, a termoclina. Trata-se de uma zona de estabilidade elevada localizada abaixo da camada de mistura. Em um perfil vertical, dependendo da sazonalidade, pode ser encontrada a termoclina Sazonal, que fica situada logo abaixo da camada de mistura ativa, e a termoclina Permanente ou Oceânica, que se estende desde a termoclina Sazonal podendo chegar até a 1000 m de profundidade.

A termoclina sazonal (Fig. 2.2) é uma camada rasa, com valores de temperatura em geral muito próximos ao de superfície. A profundidade e temperatura desta camada variam de dia pra dia e de estação pra estação em função do fluxo de calor e da turbulência ocorrendo em superfície. Ela pode ser mais rasa no verão, quando os ventos são mais fracos e o sol aquece a camada superficial, mais profunda no outono, em função das tempestades que geralmente ocorrem nessa estação, fazendo com que haja aumento de mistura e perda de calor, mais profunda ainda ou até mesmo desaparecer no inverno, quando o calor é perdido. Durante a primavera, os ventos mais fracos e o aumento da incidência de raios solares favorecem o reaparecimento de uma nova termoclina sazonal.

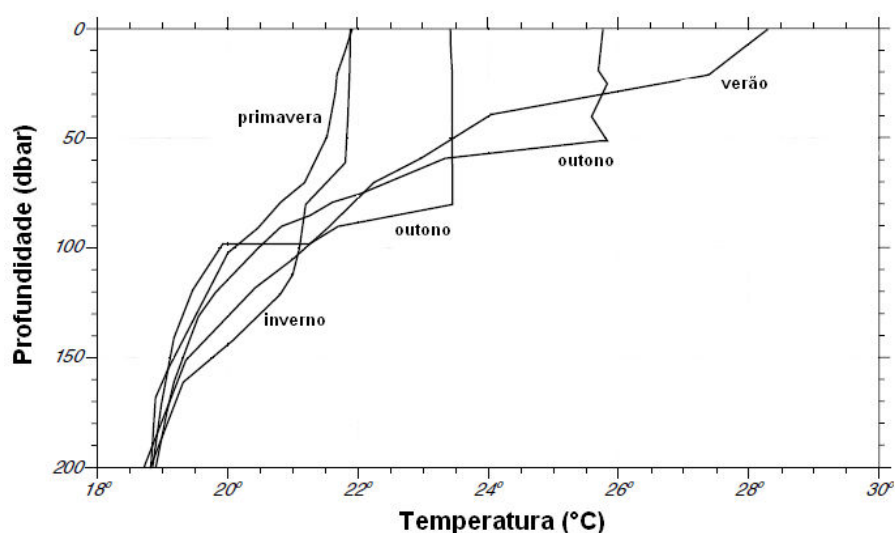


Figura 2.2: Formação e desaparecimento da termoclina em função da sazonalidade. Fonte: Adaptado de Stewart (2004).

A Termoclina permanente ou Oceânica é a camada que separa águas superficiais de águas profundas. Funciona como uma barreira a passagem de águas e propriedades verticalmente. Em regiões polares a Termoclina Permanente não existe, a água em superfície constantemente resfriada pela atmosfera se torna tão densa que afunda a grandes profundidades no oceano, levando a isoterma da coluna d'água até o fundo (Tomczak & Godfrey, 1994).

Historicamente, a profundidade da termoclina era considerada sinônima de profundidade da camada de mistura. Isso se deve ao fato de geralmente a picnoclina (região com alto gradiente de densidade) coincidir com a termoclina e com a haloclina (região com alto gradiente de salinidade).

A profundidade da termoclina na coluna de água não pode ser determinada com exatidão, por consequência de pequenas irregularidades encontradas nos perfis de temperatura (Pickard & Emery, 1990; Tomczak & Godfrey, 1994). A localização da termoclina também não pode ser assumida como a profundidade da camada de mistura devido a existência de uma camada barreira (Sprintall e Tomczak, 1992), o que já foi discutida anteriormente.

### **2.2.3 Camada Profunda**

A camada profunda se situa abaixo da termoclina, onde podem ser encontradas águas mais frias e densas até o fundo do oceano. A temperatura varia lentamente com a profundidade (Tomczak & Godfrey, 1994; de Boyer Montégut, 2004).

## **2.3 Estrutura dinâmica dos Oceanos**

As águas oceânicas que possuem em seu movimento uma direção razoavelmente constante fazem parte das chamadas correntes oceânicas. O padrão de circulação das correntes pode ser definido por uma série de fatores resultantes da interação do cisalhamento do vento sobre a superfície oceânica, gradientes de pressão, efeito de Coriolis e diferença de

densidade. Correntes em águas mais profundas, no entanto, que não são afetadas diretamente pelos ventos, e sim pela diferença de densidade e rotação da Terra, são as chamadas Correntes Termohalinas (Brown, 1998).

### **2.3.1 Correntes Oceânicas de Superfície: Geradas pelo vento**

Devido a diferença no aquecimento da superfície do planeta, a densidade do ar é maior em algumas regiões que em outras. A alta incidência de radiação solar causa o aumento da temperatura e umidade na atmosfera, causando uma zona de baixa pressão em superfície. Ao contrário, quando há uma diminuição da temperatura na atmosfera, devido ao movimento descendente do ar, forma-se um centro de alta pressão (BROWN, 1998).

A diferença de pressão em uma distância horizontal denomina-se Gradiente de Pressão, e os fluidos tendem a se movimentar de uma região de alta para uma de baixa pressão e, no caso da atmosfera, geram-se os ventos. Ao atuar na superfície do mar, os ventos encontram atrito e, por consequência, ocorre transferência de *momentum* e energia, resultando em uma movimentação da camada superficial da água, formando as correntes oceânicas superficiais. Apesar do gradiente de pressão, essa circulação não ocorre de forma direta (“retilínea”) de uma zona para outra. Dependendo da velocidade e da latitude, a corrente (de ar ou oceânica) poderá ser desviada para a esquerda (no Hemisfério Sul) ou para a direita (no Hemisfério Norte) causando uma deflexão da mesma em função da rotação da Terra, devido ao efeito de Coriolis (Pinet, 2003).

### **2.3.2 Correntes Oceânicas Profundas: Circulação Termohalina**

As variações na salinidade são resultados da diferença na concentração de sais no meio, ocasionada por processos de precipitação, evaporação, congelamento ou degelo. Todos esses processos estão diretamente relacionados com a incidência de radiação solar, logo, com a temperatura. Se há intenso congelamento da água de superfície, como consequência a concentração de sais no meio aumenta, tornando a água mais densa que a subjacente.

Devido ao empuxo, a água mais densa afunda, empurrando massas subjacentes e gerando assim, uma movimentação das massas de água que dão origem a circulação termohalina.

### 2.3.3 Frentes Oceânicas

Tanto as correntes oceânicas superficiais quanto as profundas, ao fluírem, podem se encontrar com outras correntes fluindo em sentidos opostos, formando as chamadas Frentes Oceânicas ou Frentes Oceanográficas (Pinet, 2003).

De modo geral, Frentes são limites de massa de água. São regiões onde podem ser encontradas grandes variações de temperatura tanto em superfície quanto em profundidade. As Frentes tendem a se movimentar da sua posição média em escala semanal, sazonal e até mais longas (Emery *et al.*, 2006). Em superfície, as frentes de grande escala atuam nos efeitos de interação oceano-atmosfera em relação as condições meteorológicas e climáticas (Browman, 1977).

Devido ao fato que as águas subantárticas (carregadas pela CM) e a ACAS (carregada pela CB) possuírem características termohalinas diferentes, apesar de terem uma mesma amplitude de densidade (Piola & Matano, 2001), na frente oceanográfica da CBM essas correntes formam acamadamentos horizontal, conhecido como “*Interleavings*”. A agitação na frente oceanográfica “puxa” os estratos ou camadas de água adjacentes para acomodarem-se ao longo de isopícnais (mesma densidade).

O processo resulta em misturas de água com “*Interleavings*”, com estratificação variando de metros a dezenas de metros em ambos os lados das frentes, que ocorrem nos oceanos. Tal estrutura facilita a mistura entre distintas massas de água através do aumento da superfície da área de contato (Pickard, 1974; Bianchi *et al.*, 2002;). A Figura 3.2 exemplifica um perfil de temperatura em função da profundidade com a presença de *Interleavings* marcados pelos círculos vermelhos. É possível ver que o acamadamento possui uma extensão de poucos metros até várias dezenas de metros.

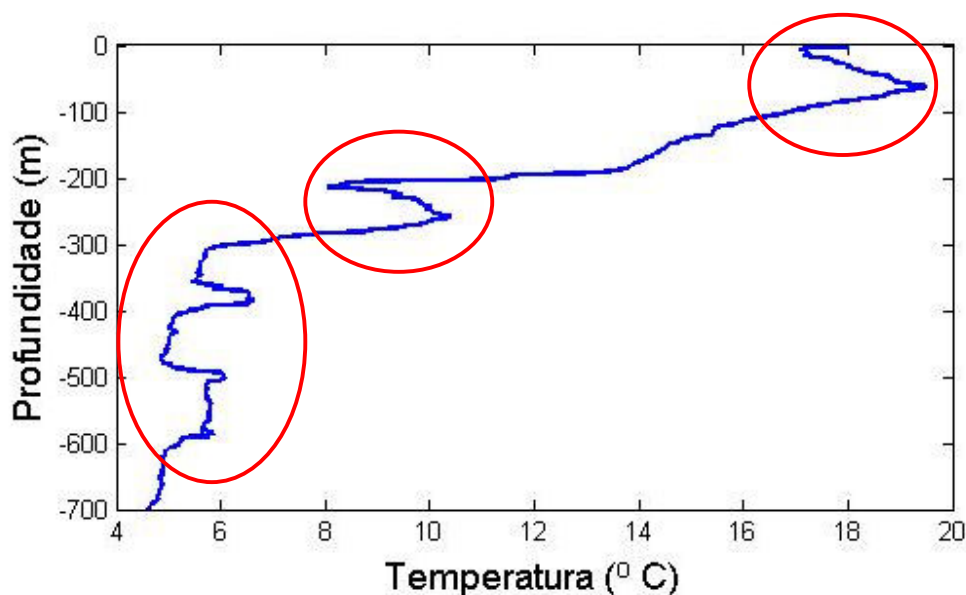


Figura 2.3: Perfil de temperatura em função da profundidade de uma estação realizada durante a OP27 com a presença de *Interleavings*, indicada pelos círculos vermelhos.

Quase na totalidade dos perfis de temperatura e salinidade de qualquer lugar do globo contém diversas inversões, indicando assim a presença de intrusões termohalinas no meio (Ruddick & Richards, 2003). Roden (1964) estudou inversões térmicas em várias regiões do Pacífico e percebeu que esses “*Interleavings*” eram geralmente estabilizados em relação a sua estrutura halina, ou seja, que uma água fria sobrepondo água mais quente não indica necessariamente uma inversão de densidade.

Embora tenha observado a presença dessas inversões em regiões polares, subtropicais e tropicais, ele notou a ocorrência de múltiplas inversões principalmente nas regiões de zonas frontais, entre diferentes massas de água, nomeando as zonas como fora de Baixa Califórnia, no Chile central, e o limite entre Kuroshio-Oyashio em particular. Essas intrusões são responsáveis pelos fluxos laterais de sal e calor e, são frequentemente comparadas aos processos dinâmicos de maior escala como vórtices ou processos de instabilidade barotrópica/baroclínica.



Processos de instabilidade oceanográfica característicos de regiões de frente determinam a formação de estruturas de mesoescalas como os meandros e vórtices (Souza *et al.*, 2008). De acordo com Richards e Gould (1996), os vórtices frontais possuem maior importância do que a atividade meandrante e turbulenta, uma vez que são responsáveis por uma parte dos processos de troca de calor, massa, *momentum* e nutrientes entre os diferentes ambientes nos oceanos.

São comumente formados em regiões de oceano onde existem descontinuidades laterais de densidade bem marcadas e velocidades de cisalhamento muito fortes na vertical. Campos *et al.* (1995) atribui a ocorrência de meandros e vórtices na costa brasileira a mudança de orientação de linha de costa e o gradiente da topografia de fundo.

A presença de vórtices (ciclônicos\* e anticiclônicos\*) e meandros da região da CBM, também podem ser inferidos a partir da análise da profundidade da termoclina nos domínios das duas correntes marinhas que caracterizam a frente oceanográfica (Souza & Robinson, 2004; Pezzi *et al.*, 2005; Dourado *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2006).

Os vórtices de núcleo frio (ciclônicos) da CBM, que giram no sentido horário, apresentam águas frias em seu interior e os de núcleo quente (anticiclônicos), que giram no sentido anti-horário, contêm águas quentes. O primeiro tipo é responsável por causar ressurgência na região de atuação, pelo “levantamento” da termoclina gerando áreas mais produtivas (Figura 2.1). O oposto ocorre com os vórtices de núcleo quente, que causam o rebaixamento da termoclina (Lentini & Souza, 2005).

Lentini *et al.* (2002) indicam que a frequência de formação de vórtices de núcleo quente, provenientes do desprendimento da CB ocorra em uma taxa de 7 por ano, com uma tendência maior de ocorrência de serem durante os meses de primavera e verão. Segundo Garcia *et al.*, (2004), a estrutura de vórtices da CB é similar ao encontrado na corrente leste da Austrália.

---

Nota\*: Vórtices ciclônicos (anticiclônicos) giram no sentido horário (antihorário) no hemisfério Sul, sendo, quando balanceados gestroficamente, de núcleo frio (quente).

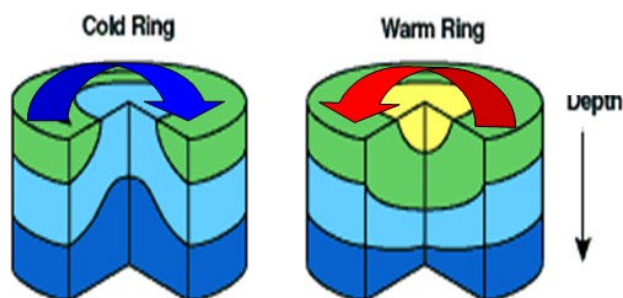


Figura 2.3: Esquematização de vórtices de núcleo frio (“*cold ring*”) e de núcleo quente (“*warm ring*”), no hemisfério sul, enfatizando a variação da profundidade da termoclina.

Fonte: Adaptado de Souza (2005).

Esse trabalho não tem como objetivo principal a exata classificação e quantificação dos transportes dessas estruturas, apenas descrevê-las sucintamente uma vez que são freqüentes e desenvolvem um importante papel na região de estudo desse trabalho.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentados o material e os procedimentos empregados nas diversas etapas para atingir o objetivo principal desse trabalho.

#### 3.1 Batitermógrafo Descartável (Expandable BathyThermograph – XBT)

O XBT é uma sonda descartável, lançada em queda livre, portando um termistor que é sensível a variação da temperatura da água em função da profundidade enquanto afunda (Figura 3.1). As medidas são transmitidas a um computador instalado a bordo de um navio através de um cabo muito fino, de cobre, que se quebra quando a profundidade máxima permitida pela sonda é atingida. Com um intervalo de tempo conhecido durante a sua queda livre, a profundidade da sonda é deduzida a partir de uma equação de taxa de queda fornecida pelo fabricante. A partir da implementação do sistema MK-12 baseado em microcomputador, as medições podem ser visualizadas diretamente na tela do computador e registradas digitalmente em intervalos de profundidade de cerca de 0,6 m (Thadathil *et al.*, 2001).

A sonda tem formato cilíndrico, similar a um torpedo, e o termistor é instalado na parte dianteira (bico). A medida de temperatura tem precisão de 0,1°C. Segundo a maioria dos fabricantes, devido ao fato de que o peso do XBT é preciso, a taxa de queda pode ser usada para calcular a profundidade da sonda na coluna d'água com uma exatidão de cerca de 2%. Existem diversos modelos de sonda, e cada um vai ter um limite de profundidade diferente, podendo ser mais superficial ou mais profunda, em função da necessidade do uso. A tabela 3.1 apresenta os diversos modelos fabricados pela *Lockheed Martin Sippican*, fabricante americana. As sondas mais utilizadas durante as OPs foram *Deep Blue* e T 7, e os dados foram analisados até a profundidade de 760 m, que é a máxima atingida por estes dois modelos de sonda.

Tabela 3.1: Esquematização dos modelos de Batitermógrafos descartáveis, suas aplicações e respectivos limites de profundidade.

Modelo	Aplicações	Prof. Máxima (m)
T 4	Sonda padrão usado pela marinha americana nas operações de Guerra Anti-Submarina	460
T 5	Aplicações científicas em oceano profundo e militares	1830
<i>Fast Deep</i>	Apropriado para embarcações de alta velocidade	1000
T 6	Aplicações oceanográficas	460
T 7	Maior alcance para predição de sonares em diversas aplicações militares	760
<i>Deep Blue</i>	Velocidade de lançamento aumentada para aplicações navais e oceanográficas	760
T 10	Aplicações em pescarias comerciais	200
T 11	Alta resolução para a marinha americana na contramedida de minas e aplicações de oceanografia física	460

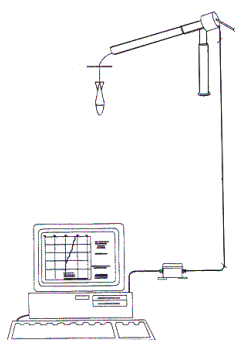


Figura 3.1: Ilustração de um sistema de perfilagem XBT: projétil, o lançador e um receptor acoplado ao computador (Fonte: adaptado de <http://www.sippican.com/seaair/xbt.php>).

### 3.1.1 Posição de lançamento dos XBTs

Para a análise da variação espacial da Frente entre a CB e a CM, em superfície, foram obtidas imagens termais de alta resolução do Advanced Microwave Scanning Radiometer a bordo do satélite Aqua (AMSR-E), e assim definidas as posições de lançamento dos XBTs para todas as OP's. Todos os lançamentos usados para a coleta de dados de XBT foram

realizados a partir do Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rongel. Com o intuito de se melhor interpretar a estrutura vertical de temperatura das correntes na região, foram feitas seções de alta resolução. Essas se tratam de interpolações da temperatura em função da profundidade ao longo das latitudes (transecto) percorridas pelo navio em que foram feitas as amostragens.

### **3.2 Dados**

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados coletados entre 2002 e 2008 durante as OPs. Esses foram posteriormente comparados com os dados médios, para a mesma área e mês das coletas de XBT usadas aqui, do WOA05 (*World Ocean Atlas 2005* - Locarnini *et al.*, 2006).

#### **3.2.1 Dados *in situ* das Operações Antárticas**

O Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) tem como principal objetivo realizar pesquisas científicas no continente antártico visando ampliar os conhecimentos dos fenômenos que ali ocorrem em todos os seus aspectos, incluindo suas influências sobre a América do Sul e Brasil. No escopo do PROANTAR, existem diversos outros projetos que realizam pesquisas tanto no continente antártico como no oceano, especificamente na região da CBM durante o trajeto do NApOc Ary Rongel até a Antártica.

Como parte integrante deste programa, o projeto SOS-Climate (*Southern Ocean Studies for Understanding Global Climate Issues*), conduzido pelo Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL) visa entre outros objetivos, contribuir para um melhor entendimento das teleconexões climáticas e de tempo entre os ambientes antártico, subantártico e subtropical, com ênfase na região da CBM.

O Programa INTERCONF (Estudo da Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas) é, no presente, parte integrante do projeto SOS-Climate e também do recém-criado Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera, no Brasil. O INTERCONF é executado por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no âmbito do GOAL. Como um de seus objetivos principais, o INTERCONF visa estudar a variabilidade de mesoescala no oceano e o acoplamento entre a atmosfera e o oceano no Atlântico Sudoeste, em especial sobre a região dos grandes contrastes termais superficiais da CBM.

Através do PROANTAR, anualmente são realizadas as Operações Antárticas (OPs), que incluem além de estações oceanográficas no Oceano Austral e a coleta de dados na ilha e continente Antártico, coletas de dados na região da CBM ao longo da derrota do (NApOc) Ary Rongel.

Para obtenção dos perfis de temperatura em função da profundidade, são lançados XBTs para a porção norte (quente) e sul (fria) da frente, entre a CB e a CM na região da CBM. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos entre os anos de 2002 (OP 21) e 2008 (OP 27). As amostragens ocorreram nos meses de outubro ou novembro, dependendo do ano, quando o NApOc Ary Rongel parte do porto de Rio Grande (RS) até a Antártica no início de cada OP.



Figura 3.2: Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc) Ary Rongel.

A fim de se obterem dados que apresentassem perfis característicos tanto da CB quanto da CM, antes da partida do NApOc Ary Rongel, a região de estudo foi sempre estudada previamente a partir da análise de imagens de TSM obtidas com satélites. Assim foram definidos os máximos gradientes horizontais de TSM e mapeava-se o local em que se situava a Frente em cada OP. Uma vez investigada a região, o navio foi dirigido ao longo de transectos que cruzassem esse máximo gradiente de TSM na região da CBM. O número de estações em cada transecto das diversas OPs variou em função da disponibilidade de sondas para cada ano e da logística do navio (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Quantidades de estações de lançamento e número de XBTs nas OPs 21 a 27.

Operação	Período coleta	Estações (#)	Latitude (°S)	Longitude (°W)
21	13 a 14 nov. 2002	5	43,5 – 46,0	55,8 - 57,8
22	10 a 12 nov. 2003	40	36,9 – 48,0	53,0 - 59,5
23	02 a 05 nov. 2004	22	35,3 - 40,1	52,4 – 54,5
24	27 a 31 out. 2005	12	38,5 – 40,2	53,0 – 54,0
25	27 a 28 out. 2006	9	38,8 - 39,8	53,0 - 55,5
26	15 a 17 out. 2007	7	39,5 – 40,1	54,5 – 55,5
27	13 a 15 out. 2008	12	36,8 - 38,6	52,4 – 55,0

### 3.2.2 Dados do *World Ocean Atlas 2005 (WOA05)*

O WOA05 é um conjunto de dados na forma de mapas anuais, sazonais e mensais de campos climatológicos de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, porcentagem de saturação do oxigênio, fosfato, silicato, nitrato, entre outras propriedades, para profundidades oceanográficas padrão. A análise da temperatura da água do mar disponível no WOA05 foi feita com base no banco de dados do Laboratório de Clima Oceânico do Centro Nacional de Dados Oceanográficos (NODC – EUA) e do Centro Mundial de Dados (WDC) (Locarnini *et al.*, 2006).

O WOA05 foi produzido pela primeira vez em 1994 (baseado no anterior Atlas climatológico do Oceano Mundial), com edições posteriores em intervalos de aproximadamente quatro anos em 1998, 2001 e 2005.

Nesse trabalho, com o objetivo de se obter uma comparação entre o mesmo período analisado com os dados das OPs, optou-se por utilizar as médias mensais de outubro, novembro, dezembro e a média entre os meses de outubro a dezembro, de dados interpolados objetivamente para intervalos de 1° x 1° de latitude e de longitude (Locarnini *et al.*, 2006). A visualização dos dados e parte da análise foram feitas com o programa *Ocean Data View* (ODV), pelo fato desses dados estarem disponibilizados no formato deste programa no próprio site.



Foram extraídos do WOA05 dados de temperatura, obtidos exclusivamente com XBT, compreendidos nos pontos 36,5 °S e 51,5 °W representando a região da CB, e será referenciado doravante como ponto B e 44,5 °S e 57,5 °W representando a região da CM, que doravante será referenciado como ponto M. A escolha desses dois pontos foi feita em função da melhor caracterização da região de ocorrência típica da CB e da CM para fins de comparação com os dados das OPs. A Tabela 3.3

Tabela 3.3: Relação do número de dados observados dentro de um ponto de 1° x 1° de latitude e de longitude no ponto B, no ponto M nas diversas profundidades oceanográficas pré-estabelecidas.

Prof (m)	Ponto B				Ponto M			
	out	nov	dez	média	out	nov	dez	média
10	3	14	1	18	1	5	7	13
20	2	10	1	13	2	6	7	15
30	2	10	1	13	2	6	7	15
40	2	10	1	13	2	6	7	15
50	2	13	1	16	2	6	7	15
75	1	10	1	12	2	6	7	15
100	1	13	1	15	2	6	7	15
125	2	9	1	12	2	6	7	15
150	2	12	1	15	2	6	6	14
200	2	10	1	13	2	5	6	13
250	2	12	1	15	2	5	6	13
300	2	12	1	15	2	4	5	11
400	2	12	1	15	2	4	5	11
500	1	12	0	13	2	3	4	9
600	1	12	0	13	2	3	3	8
700	1	11	0	12	2	2	3	7
800	1	10	0	11	1	2	2	5

Foram elaborados mapas de TSM para os 4 períodos em questão: outubro, novembro, dezembro e para a média entre os meses de outubro a dezembro. Foram elaboradas também seções de alta resolução e perfis de temperatura em função da profundidade para cada período analisado. Nesse caso os dados foram interpolados linearmente para profundidades oceanográficas pré-estabelecidas no WOA05 (0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700 e 800 m).

### 3.2.3 Análise de consistência dos dados

Para cada lançamento de XBT realizado durante as OPs, foi obtido um perfil de temperatura em função da profundidade. Uma análise preliminar de consistência dos dados de XBT foi feita através da análise da curva do perfil. Qualquer variação de temperatura, como picos abruptos nos valores em relação aos demais no perfil, era marcada. Estes perfis eram então interpolados linearmente a partir dos valores de temperatura acima e abaixo da profundidade onde a variação abrupta foi registrada ou até mesmo eliminados do estudo. Os primeiros valores registrados pelos XBT (a 0,6 ou 0,7 m de profundidade) foram sempre descartados, pois apresentavam valores de temperatura superestimados como consequência do tempo de estabilização do sensor no momento da imersão na água logo após o lançamento (Thadathil *et al.*, 1998).

Além da análise individual de consistência de dados em cada perfil de XBT, também foi analisada a influência da resolução vertical. Foi verificado que nem o processo de suavização dos dados através do cálculo de médias a cada 20 m (descrito a seguir) e nem tampouco a utilização de apenas alguns níveis de referência para os perfis de temperatura, como os utilizados pelo WOA05 e Levitus (1982) (tais níveis estão descritos na seção 3.1.2), têm influência significativa na característica do perfil (fig. 3.3). Além disso, o processo de suavização dos dados ajudou a eliminar dados inconsistentes ou atípicos, o que permite uma melhor comparação dos perfis de temperatura entre os diferentes anos para cada uma das correntes e entre os dados originais de XBT das OPs e do WOA05.

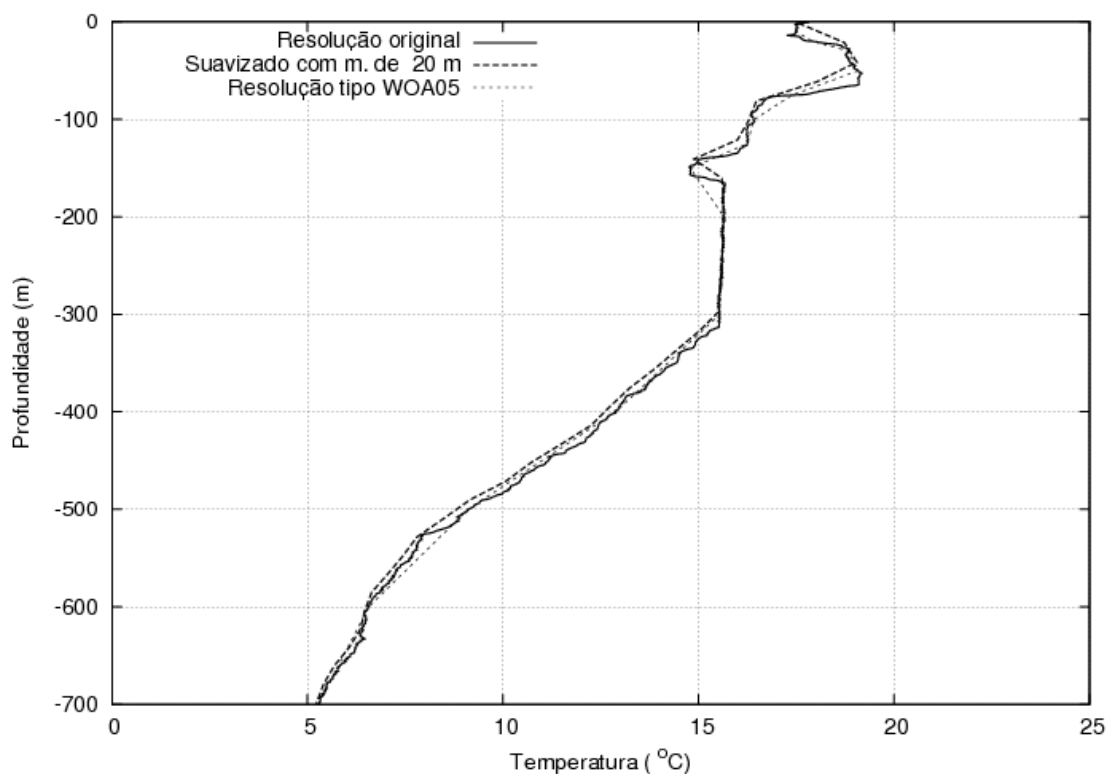


Figura 3.3: Comparação entre diferentes resoluções verticais para o perfil médio de temperatura da CB em função da profundidade (conforme a legenda) com dados obtidos durante a OP 27.

### 3.2.4 Perfis e médias de temperatura

Para que a temperatura média de cada corrente pudesse ser comparada entre as 7 OPs, foram primeiramente plotados os perfis de temperatura em função da profundidade para cada lançamento de XBT.

O critério de separação dos dados das correntes do Brasil e Malvinas utilizado neste trabalho considera que a temperatura superficial da CM varia de 4 °C a 13 °C (Pickard, 1974; Ikeda *et al.*, 1989). Valores acima do limite superior são considerados como águas pertencentes a CB.

A fim de se comparar a temperatura média da CB e da CM em cada operação, foi calculada uma média dos perfis (previamente agrupados em suas respectivas correntes) e extraídos os desvios padrão de cada corrente, de forma que a comparação pôde ser feita visualmente (Capítulo 4). Para essa etapa do trabalho foram escolhidos apenas os perfis feitos com o mesmo modelo de sonda. Entretanto, para as demais análises, todos os perfis foram levados em conta. Os perfis que apresentaram características de região de mistura entre as correntes, com feições como os “*Interleavings*” não foram utilizados para o cálculo das médias.

### **3.2.5 Comparação entre os dados das OPs e do WOA05**

Esta etapa da análise tem como objetivo a verificação de viéses entre os perfis obtidos provenientes dos dois bancos de dados.

O primeiro passo para a avaliação das diferenças na temperatura da água em cada corrente entre as distintas bases de dados foi realizar uma verificação visual das curvas dos perfis distintos de temperatura pela profundidade. A comparação entre estes dados foi então realizada através da subtração do valor da temperatura da média climatológica (extraída do perfil do WOA05 para outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro) pelo respectivo valor médio no perfil de temperatura na CB e CM típicas medidas durante as OPs.

### **3.2.6 Determinação da Profundidade da termoclina**

Na literatura é possível encontrar 2 métodos, que são mais utilizados para definir a profundidade da termoclina. São esses:

- Método do Gradiente (Lukas & Lindstrom, 1991):

Nesse método assume-se que a variação da temperatura é linear na região da termoclina, ou seja:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \text{Constante} \quad (3.1)$$

onde  $\partial T$  é a variação da Temperatura e  $\partial z$  a variação da profundidade. O valor estipulado para esta constante é em torno de 0,05 °C/m (Lukas & Lindstrom, 1991).

- Método da diferença da temperatura ( $\Delta T$ ) (Levitus, 1982):

Levitus (1982) define que o topo da termoclina se encontra na profundidade na qual a diferença da temperatura ( $\Delta T$ ) da superfície até tal profundidade é em torno de 0,5 °C.

Entretanto, esse método considera que a camada isothermal é altamente homogênea, o que nem sempre é observado (região (1) Fig. 3.4). Isso impossibilita a aplicação deste método para alguns tipos de perfil, como, por exemplo, os perfis apresentados nas figuras 3.3 e 3.4.

Kara *et al.*, (2000) faz uma comparação dos diferentes  $\Delta T$ s apresentados na literatura e desenvolve um algoritmo simples (utilizado na realização deste trabalho) que corrige o problema que havia na determinação da profundidade da camada isothermal e, conseqüentemente na determinação da profundidade do topo da termoclina. O problema acima referido é bastante comum em perfis de temperatura em regiões tropicais (Fig. 3.4). Na Figura 3.4 é possível observar que inicialmente ocorrem variações de temperatura maiores que 0,5 °C, porém logo abaixo existe uma região de grande homogeneidade vertical de temperatura (região (2) Fig. 3.4) e logo abaixo desta, encontra-se a termoclina (região (3) Fig. 3.4).

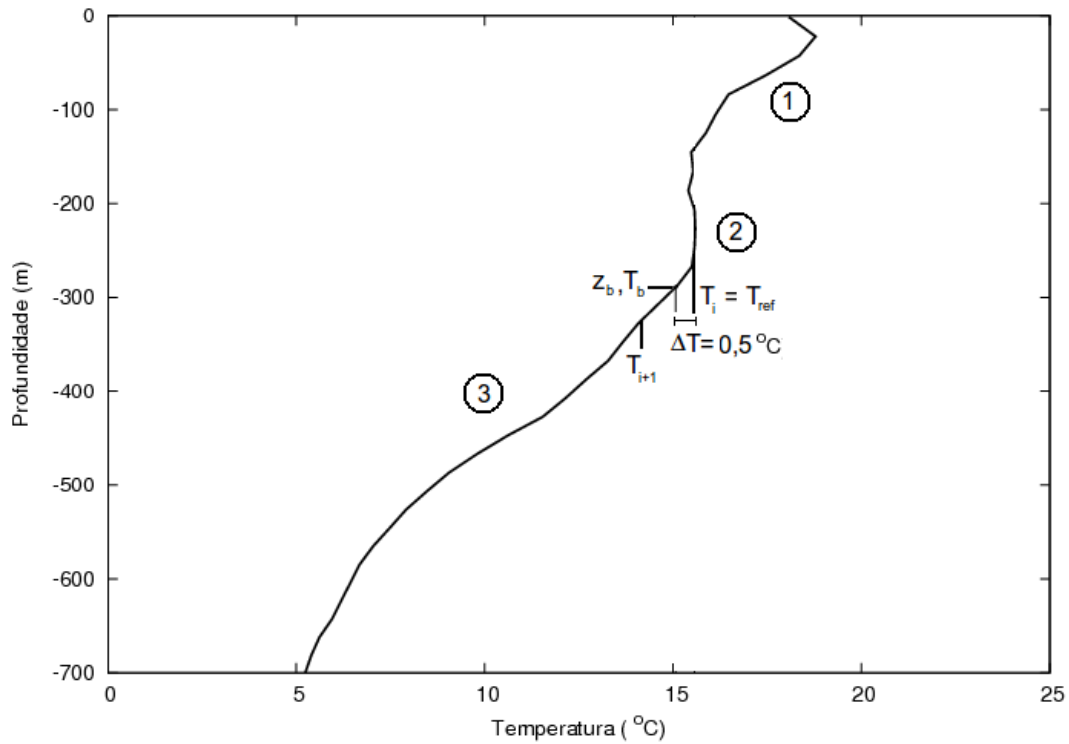


Figura 3.4: Perfil de temperatura obtido durante a OP 27. Determinação da profundidade da base da camada isotermal através do método desenvolvido por Kara *et al.* (2000).

O algoritmo desenvolvido por Kara *et al.*, (2000) segue os seguintes passos:

Primeiro é definida uma temperatura de referência ( $T_{ref}$ ) que é a temperatura da superfície. Logo após, é procurada no perfil alguma região caracterizada por ter grande homogeneidade vertical de temperatura (região (2) Fig. 3.4), ou seja,  $|T_i - T_{i+1}| \leq 0,1 \Delta T$ , onde  $\Delta T$  é o limiar utilizado para definir a profundidade da camada isotermal (neste trabalho, o  $\Delta T$  utilizado é de  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Caso esta região seja encontrada, a nova temperatura de referência passa a ser  $T_i$ . Caso contrário, continua sendo a temperatura superficial. O critério de seleção do  $\Delta T$  foi baseado em testes feitos com outros valores, e o de  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  foi escolhido por convenção.

Após a definição da temperatura de referência, é calculada a temperatura da base da camada isothermal (topo da termoclina),  $T_b$ .

$$T_b = \begin{cases} T_{\text{ref}} - \Delta T, & \text{se } T_{i+1} < T_i \\ T_{\text{ref}} + \Delta T, & \text{se } T_{i+1} > T_i \end{cases} \quad (3.2)$$

Uma vez encontrada a temperatura no topo da termoclina, é então procurada a profundidade ( $Z_b$ ) equivalente a tal temperatura. Caso  $T_b$  esteja localizada entre dois pontos  $i$  e  $i+1$ ,  $Z_b$  é calculada através de interpolação linear. Este método é ilustrado na Figura 3.4.

Neste trabalho, o método acima descrito foi implementado utilizando a linguagem de programação FORTRAN 77. Assim a profundidade da termoclina foi calculada para cada perfil individualmente e, posteriormente, foram feitas as médias destas profundidades para o período de cada OP e para os dados do WOA05.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **4.1 Operações Antárticas**

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados dos dados obtidos durante as OP21 a OP27, sendo estes: mapas de TSM, seções de alta resolução e todos os perfis de temperatura (que foram utilizados para o cálculo da média), obtidos com XBT, na região da CBM.

##### **4.1.1 Operação Antártica 21 (2002)**

Como apresentado anteriormente, na tabela 3.2, foram obtidos dados em 5 estações oceanográficas (sendo que 2 das estações foram realizadas no mesmo ponto dentro do vórtice), compreendidas entre as latitudes 43,5°S e 46 °S e longitudes 55,8 ° W e 57,8 °W, no período de 13 a 14 de novembro de 2002.

No mapa de TSM, (Fig. 4.1) é possível ver a posição de cada uma das estações de lançamento de XBT durante esta operação, representada pelos pontos escuros (duas estações foram realizadas em um mesmo ponto, dentro do vórtice). Na região amostrada, a TSM indica valores de 8 °C até aproximadamente 10 °C, dependendo da latitude, indicando a presença de águas de origem subantárticas, carregadas pela CM (Piola & Matano, 2001). Essas águas estão indicadas pela coloração azulada na Figura 4.1. Apesar de não ter sido amostrada, a CB está indicada no mapa de TSM como regiões com coloração variando do amarelo ao vermelho, representando temperatura da água  $\geq 16$  °C.

A OP21 foi dedicada ao estudo detalhado de um vórtice de núcleo quente que se encontrava na região sob domínio da CM. Informações mais detalhadas sobre essa estrutura de mesoescala em questão estão descritas em Souza *et al.*, (2006).



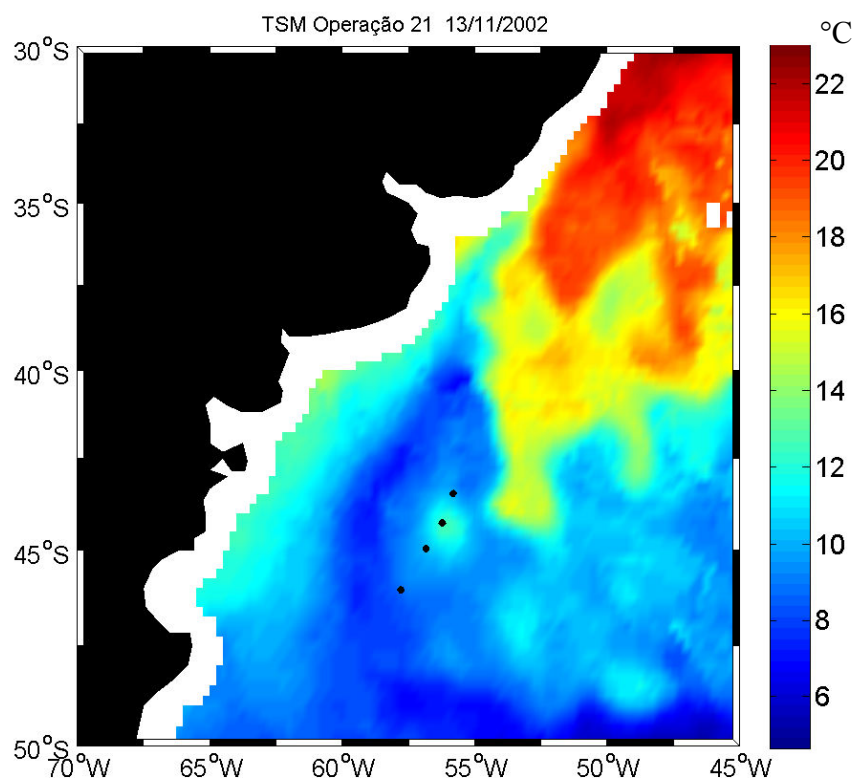


Figura 4.1: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP21. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.

A Figura 4.2 apresenta uma seção de alta resolução com a temperatura da água da região amostrada. Sua profundidade se limita até 500 m pelo fato de muitos dados terem apresentados problemas como grandes picos e incoerências na temperatura abaixo desse nível. Nela pode se notar claramente uma estrutura com temperatura bem superior em meio as águas frias da CM. A estrutura é o vórtice de núcleo quente descrito no trabalho de Souza *et al.*, (2006). A estrutura é perfeitamente notável como um corpo de água quente com conseqüente rebaixamento da termoclina até pouco mais de 150 m. A termoclina fica evidente pelo forte gradiente termal tanto abaixo do vórtice quanto nas águas circunvizinhas da CM.

Souza *et al.*, (2006) calcularam o volume desse vórtice, tomando como princípio que o mesmo se aproximava geometricamente a uma forma cilíndrica, para simplificação e

comparação com os trabalhos de outros autores. A medição do raio ( $r$ ) foi feita a partir de imagens de satélite, sendo calculado a partir das médias do maior e menor eixo, como metade do diâmetro ou 54 km. A profundidade ( $h_{\text{vórtice}}$ ) foi obtida a partir dos dados de XBT analisados aqui (Equação 4.1). O volume do vórtice ( $V_{\text{vórtice}}$ ) é dado por:

$$V_{\text{vórtice}} = \pi r^2 h_{\text{vórtice}} \quad (4.1)$$

Tendo como a profundidade da estrutura ( $h_{\text{vórtice}}$ ) um valor de 150 m, o mesmo apresentou um volume cilíndrico de  $1,37 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Esse cálculo foi realizado com o intuito de se conhecer o quanto de água, incluindo sal e calor, estavam sendo carregados por essa estrutura entre os distintos ambientes.

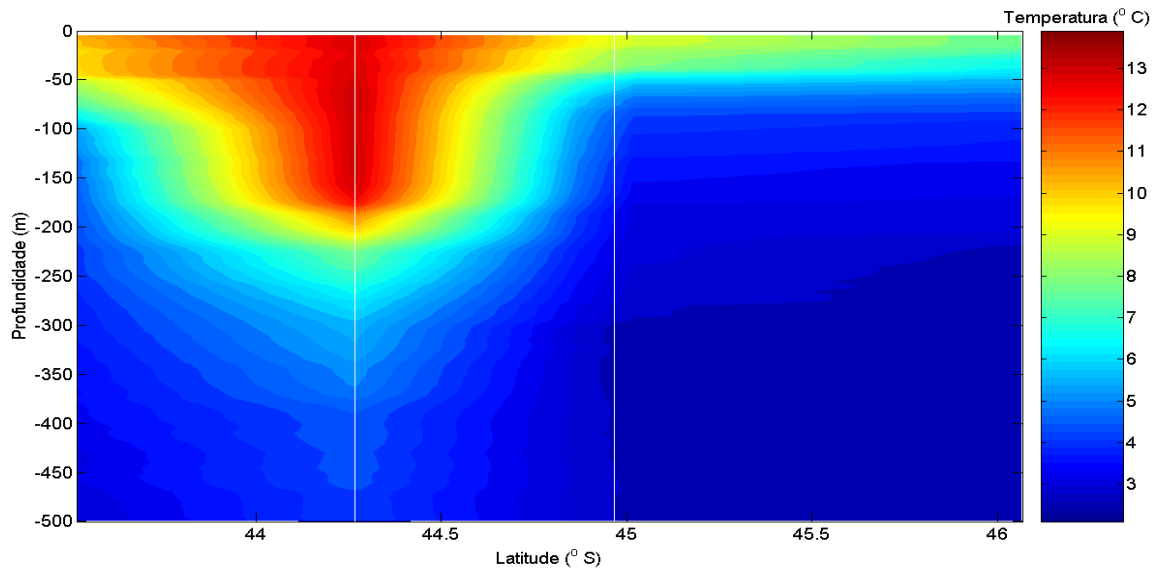


Figura 4.2: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP21. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

Os perfis de XBT eram lançados enquanto o navio cruzava o vórtice são apresentados na Figura 4.3 (a). É importante ressaltar que os dois lançamentos apresentam coerência quanto aos valores de temperatura em toda a extensão do perfil e, a profundidade em que a termoclina se encontra rebaixada até os 150 m fica claramente explícita. Na Figura 4.3 (b)

encontram-se os perfis de temperatura da região da CM. A temperatura variou de pouco menos de 8 °C até 10 °C, na superfície.

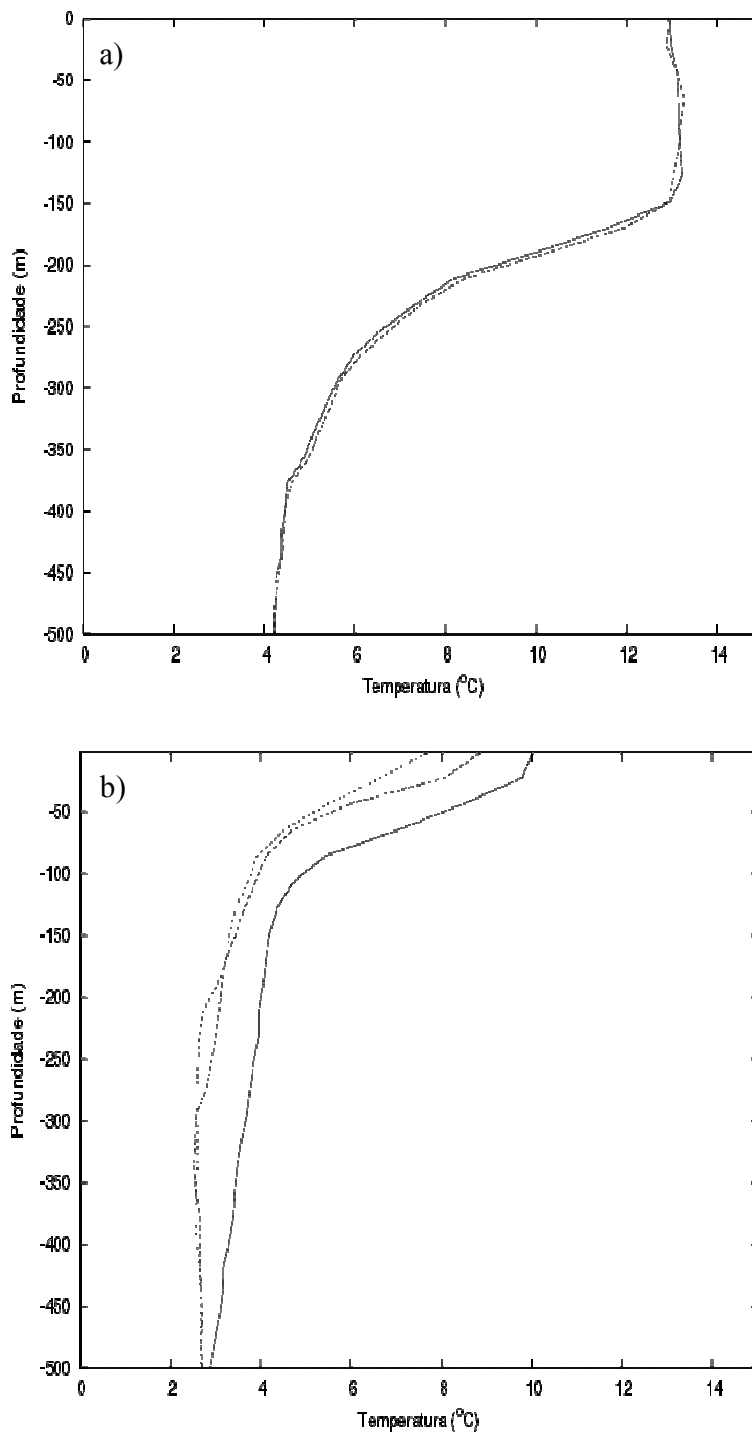


Figura 4.3: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT durante a OP21. (a) Vórtice de núcleo quente; (b) CM.

A partir dos perfis da CM (Fig. 4.3 (b)) calculou-se o perfil médio de temperatura em função da profundidade média para esta corrente (Fig. 4.4). Como não existem dados referentes a CB na OP21, não é apresentada a média desta corrente para este ano.

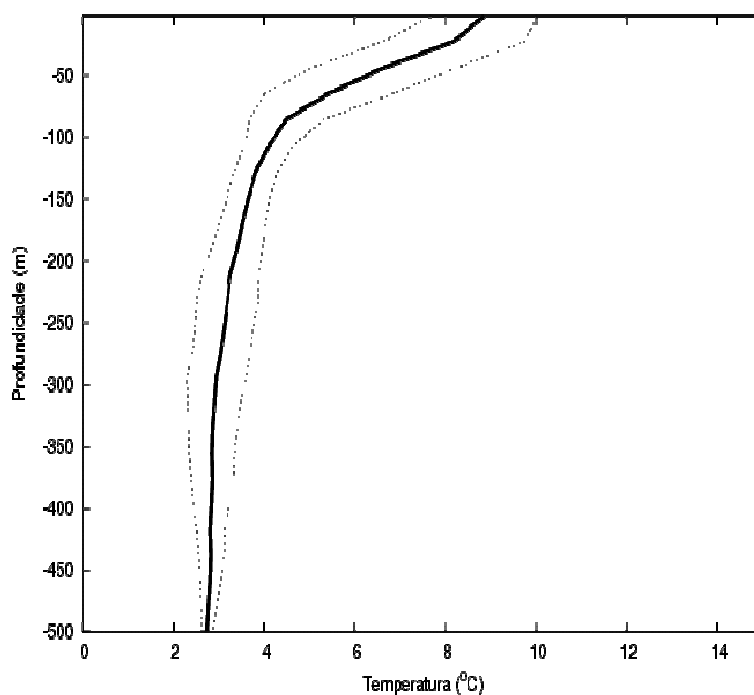


Figura 4.4: Perfil médio de temperatura para a CM (linha sólida) para dados coletados durante a OP21. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

O perfil médio de temperatura referente as águas da CM (Fig. 4.4) mostra claramente o padrão, ou forma, que esta corrente apresenta, com um grande gradiente vertical de temperatura acima dos 100 m de profundidade. A temperatura média em superfície (acima de 20 m) foi de 8,37 °C, com desvio padrão de 1,15 °C. O maior desvio ocorreu a 40 m, sendo este de 1,61 °C.

#### 4.1.2 Operação Antártica 22 (2003)

A Operação Antártica 22 foi mais completa que a anterior, abrangendo regiões mais amplas do domínio das duas correntes estudadas. Foram realizadas 40 amostragens, entre as latitudes 36,1 °S a 48 °S e longitudes 53°W a 59,4 °W no período entre 10 e 12 de novembro de 2003.

No mapa de TSM (Fig. 4.5), a região da CB está indicada por uma coloração variando em tons de amarelo ao avermelhado, indicando temperaturas acima de 16 °C. A região da CM está indicada pela coloração azulada e, as temperaturas se encontravam entre 8°C a 10 °C.

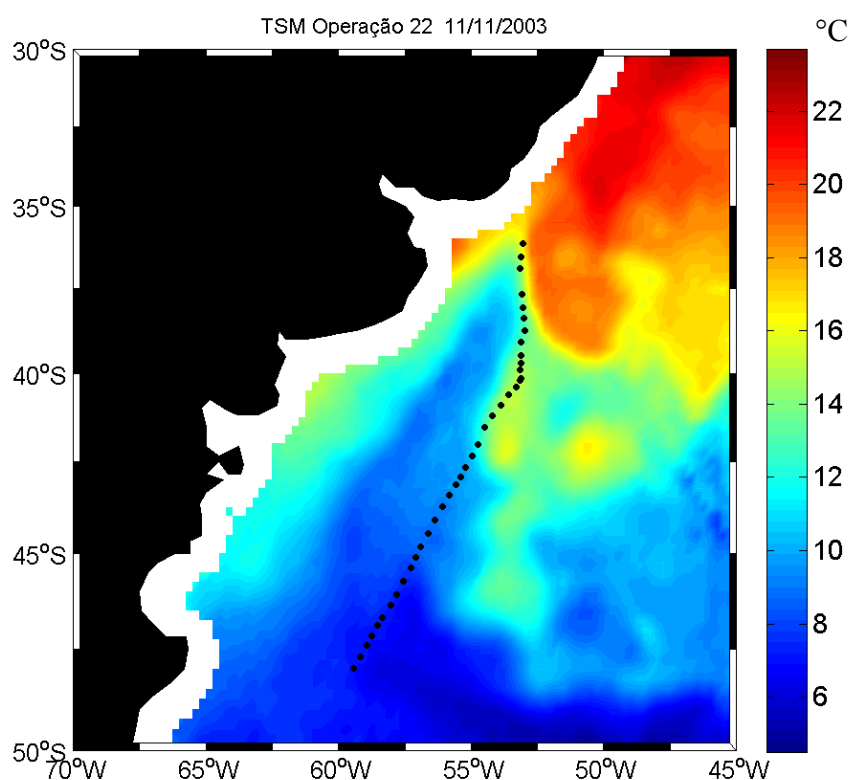


Figura 4.5: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP22. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.

Ainda observando a Figura 4.5, nota-se que durante a derrota do navio, este cruzou uma região de água quente em meio a águas mais frias. Ao se analisar a seção de alta resolução de XBTs desta operação (Fig. 4.6), e ao se comparar a estrutura semelhante da OP21, pode-se dizer que este é um vórtice de núcleo quente que se desprende da CB.

Com base na metodologia descrita em Souza *et al.*, (2006), foi calculado o volume desse vórtice a fim de se conhecer quanto de água e propriedades (sal e calor) estavam sendo transferidas da CB para o ambiente sob domínio da CM. O volume foi novamente calculado pela aproximação da forma do vórtice a de um cilindro. A obtenção do valor do raio ( $r$ ) foi feita através da média do maior eixo pelo menor. Esses dados foram extraídos através da análise visual do mapa de TSM (Fig. 4.5). O valor encontrado foi de 264.608 m. A altura ( $h_{\text{vórtice}}$ ) (profundidade) extraída com base na análise visual de perfis de temperatura obtidos através de lançamentos de XBT na região foi de 200 m. O volume encontrado para esta estrutura foi de  $1,10 \times 10^{13} \text{ m}^3$ .

O vórtice da OP21 teve apenas 2 amostragens no seu interior, ao contrário da estrutura da OP22, onde foram realizadas diversas amostragens ao longo da derrota do NApOc Ary Rongel. Em função da maior quantidade de perfis na região do vórtice, é possível notar estruturas diferentes em região de subsuperfície, como a formação dos diversos *Interleavings* no limite entre o vórtice e as águas adjacentes pertencentes a CM e um aprisionamento de um corpo de água mais fria no interior do vórtice, situado entre as latitudes 40,6 °S e 40,9 °S, a aproximadamente 100 m de profundidade. Trata-se de uma porção de água mais fria, com temperaturas de até 11 °C, ou seja, chegando a 3 °C mais baixos que os valores encontrados no vórtice.

Na região sob domínio de águas da CM, são encontrados valores de temperatura em superfície variando entre 6 °C a 8 °C. A partir da latitude 41,5 °S rumo sul, abaixo dos 300 m, percebe-se um afloramento de água com temperatura inferior a 4 °C, vinda de profundidades maiores. Segundo Tomczak e Godfrey (1994), esta água é a AIA, com temperaturas abaixo de 6 °C, ocupando profundidades abaixo da Água Superior Subantártica (> 400 m).

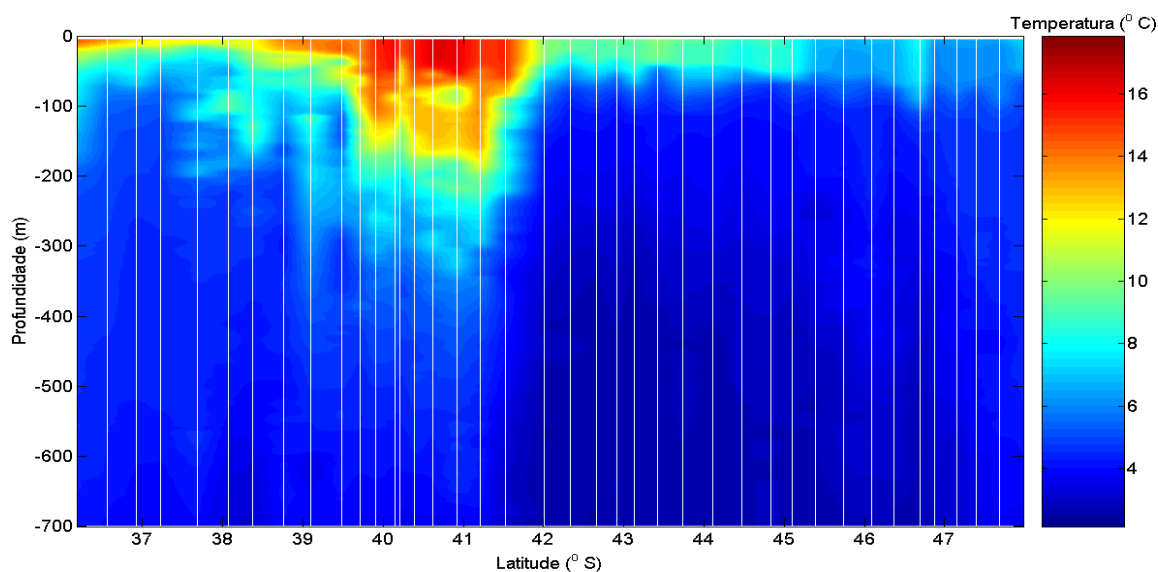


Figura 4.6: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP22. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

A Figura 4.7 apresenta os perfis de XBTs lançados na região da CB (Fig. 4.7 (a)) e na CM (Fig. 4.7 (b)). Observando os perfis da CB, nota-se que, apesar de na superfície existir uma maior variação de temperatura, há certa coerência quanto a profundidade da termoclina. O mesmo pode ser observado nos perfis da CM.

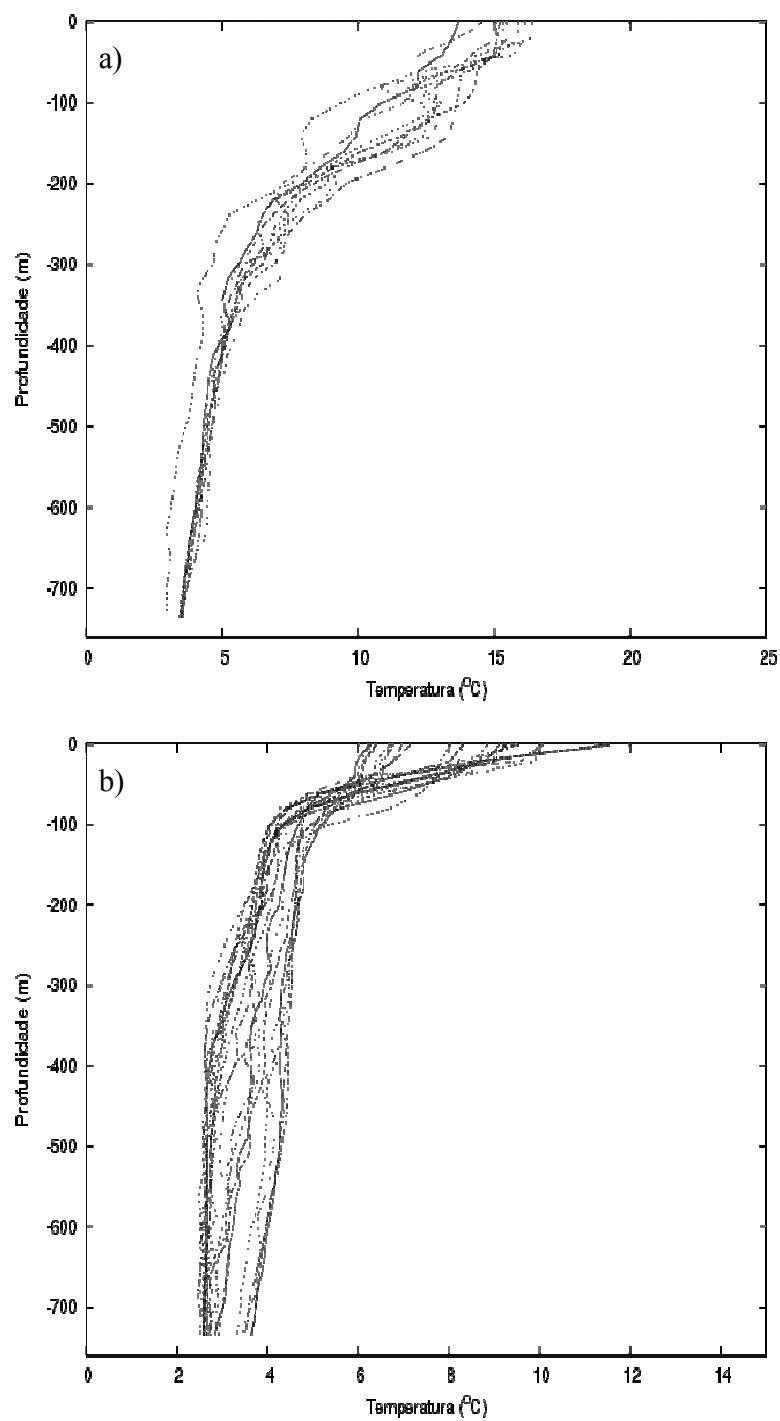


Figura 4.7: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP22. (a) CB; (b) CM.



A partir dos perfis de temperatura (Fig. 4.7 (a) e 4.7 (b)) calcularam-se as médias de temperatura para ambas as correntes, CB e CM, as quais estão apresentadas na Figura 4.8.

A Figura 4.8 mostra que a CM mantém o mesmo padrão, visto no ano anterior (Seção 4.1.1), porém para este ano foram coletados dados também referentes a CB antes do encontro com a CM. O perfil médio da CB para o ano de 2003 (Fig. 4.8, linha sólida da direita) apresenta um pequeno gradiente de temperatura nos primeiros metros abaixo do perfil (acima dos 80 m) e abaixo deste gradiente é observada a presença de uma isoterma de 12 °C que se estende até os 100 m de profundidade, aproximadamente. Logo abaixo desta isoterma é observado novamente um gradiente de temperatura que se estende até 300 m de profundidade aproximadamente. O primeiro gradiente de temperatura indica a existência de uma termoclina sazonal, como relatada na Subseção 2.2.2. e abaixo desta, logo abaixo da isoterma de 12 °C, localiza-se a termoclina permanente ou oceânica.

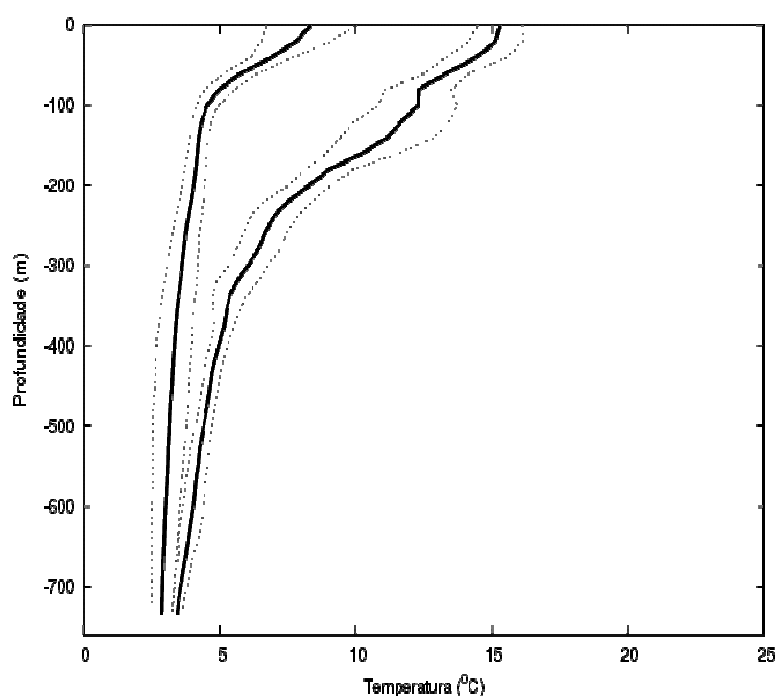


Figura 4.8: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP22. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### 4.1.3 Operação Antártica 23 (2004)

Para esta operação foram utilizadas 22 amostragens realizadas entre os dias 2 a 5 de novembro do ano de 2004, entre as latitudes 35,3 °S a 40,1°S e 52,4 °W a 55 °W de longitude. A região de maior contraste termal se localizava em torno de 39,5 °S de latitude.

No mapa de TSM (Fig. 4.9), vê-se que esta operação apresentou maior número de lançamentos na região da CB em comparação a região da CM. Pode-se ver nitidamente que a região apresentava sua característica típica de variabilidade espacial em mesoescala com a formação de meandros e vórtices espalhados na região.

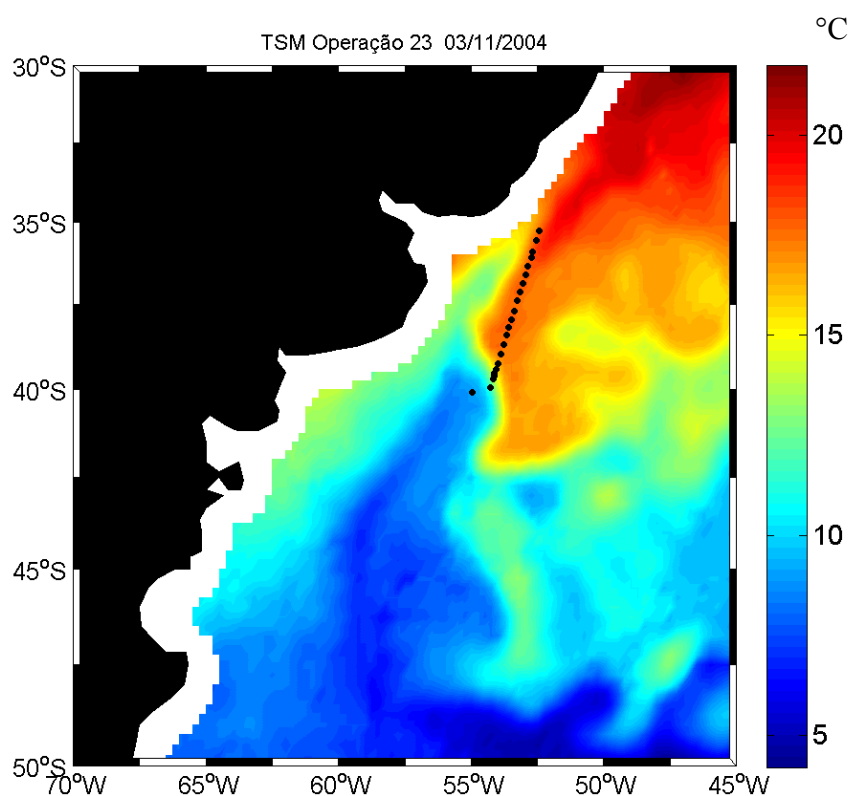


Figura 4.9: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP23. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT.

Na seção de alta resolução (Fig. 4.10), pode-se ver uma grande parcela de água da CB com temperaturas acima de 14 °C alcançando profundidades de até aproximadamente 400 m.

Nas latitudes iniciais de amostragem, por volta de 35,5 °S, existe um pico de água mais quente, marcada com o círculo azul, com temperaturas chegando a 20 °C. Isso se deve ao fato dessa região estar mais próxima ao núcleo da CB, onde as temperaturas possuem valores maiores que 20 °C a uma profundidade alcançando até 200 m (Peterson & Stramma, 1991). Esse afundamento é típico da CB na região. Ao encontrar com a CM, as águas da CB se acumulam levando águas mais quentes até maiores profundidades.

Ainda analisando a Figura 4.10, a partir de 39,5 °S de latitude para sul, até uma profundidade de 400 m, é possível reparar um acamamento de águas com diferentes temperaturas, marcados com o círculo em vermelho, conforme observados por Pezzi *et al.* (2009). Esse acamamento é típico dos “*interleavings*” que são encontrados em regiões oceânicas com fortes gradientes de propriedades. Estas estruturas estão melhor descritas na Seção 2.3.3 deste trabalho.

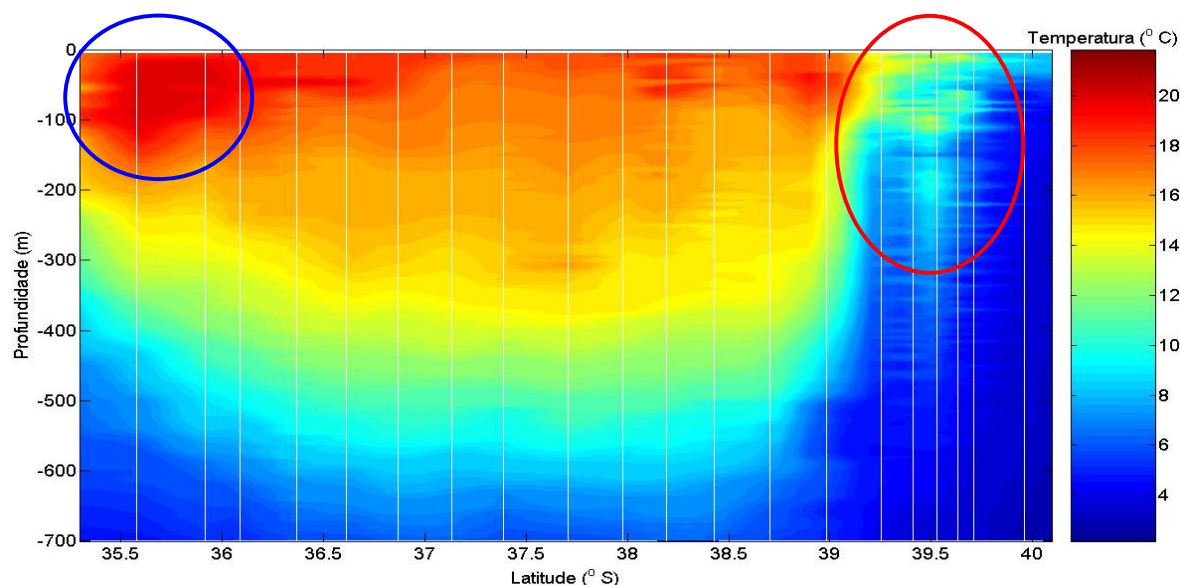


Figura 4.10: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP23. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

A Figura 4.11 apresenta os perfis de temperatura obtidos durante a OP23. Os perfis obtidos na região sob domínio da CB (Fig. 4.11(a)) se mostram coerentes em relação a temperatura da coluna d'água, especialmente em relação a profundidade da termoclina.

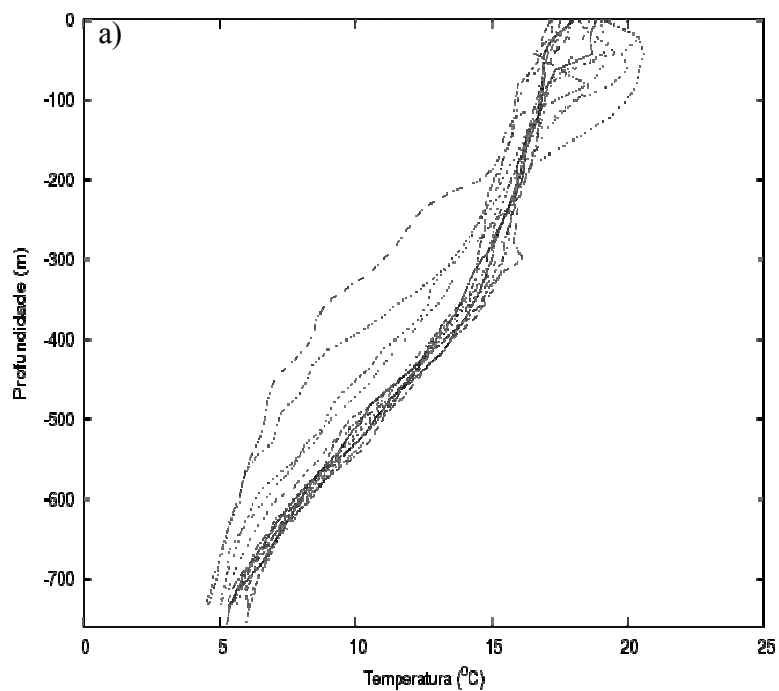


Figura 4.11: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP23. (a) CB; (b) CM. (cont.)

Na Figura 4.11(b) a temperatura superficial em todos os perfis se mostram bem similares, em torno de 8 °C. As maiores variações na temperatura ocorreram abaixo de 50 m. A profundidade da termoclina se apresenta bem similar em cada um dos perfis.

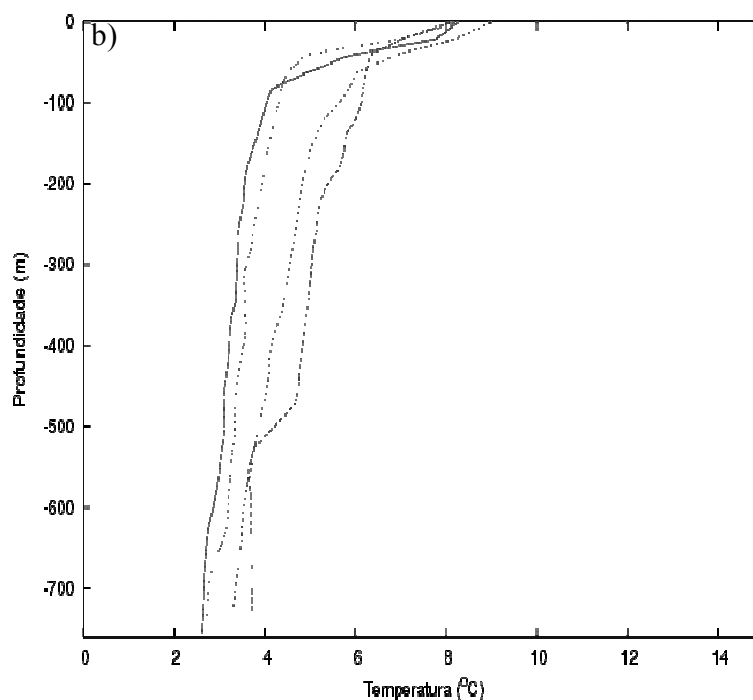


Figura 4.11: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP23. (a) CB; (b) CM. (Final.)

Os perfis médios de temperatura, em função da profundidade, estão apresentados na Figura 4.12. A temperatura média registrada para as águas da CB, em superfície, foi de 18,25 °C, com desvio padrão de 0,70 °C, sendo que o maior ocorreu aos 440 m, com um valor de 1,60 °C. Para a CM, a temperatura média encontrada para esta OP foi de 8,37 °C, com desvio padrão de 0,41 °C. O maior desvio ocorreu a 80 m de profundidade, sendo este de 1,06 °C.

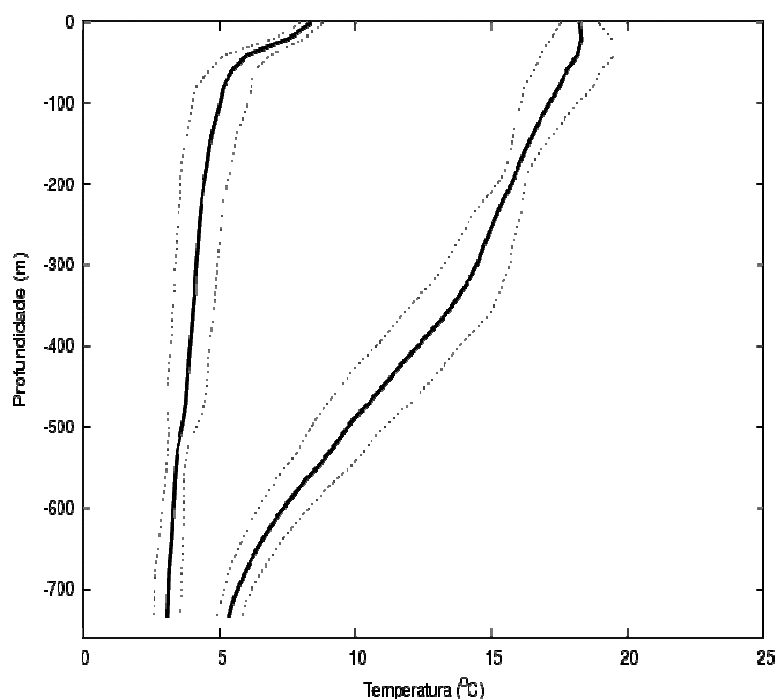


Figura 4.12: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP23. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### 4.1.4 Operação Antártica 24 (2005)

Para esta operação foram utilizados 12 perfis de temperatura, amostrados durante o mês de outubro de 2005, numa área compreendida entre 38,5 °S e 40 °S e 53 °W e 54°W.

No mapa de TSM (Fig. 4.13), é possível perceber, pela forte coloração avermelhada, uma parcela de água localizada próximo a 30 °S e 45 °W, com temperaturas superficiais chegando a 24 °C. Pode-se dizer que se trata do núcleo da CB, que na literatura é caracterizado por temperaturas maiores que 20 °C (Emilsson, 1961). A região do núcleo da CM está indicado pela forte coloração azul no mapa, mais ao sul de 45 °S, próximo a 55 °W de longitude.

Os lançamentos das sondas foram realizados em uma região de encontro de um lóbulo meandrante da CB com a CM.

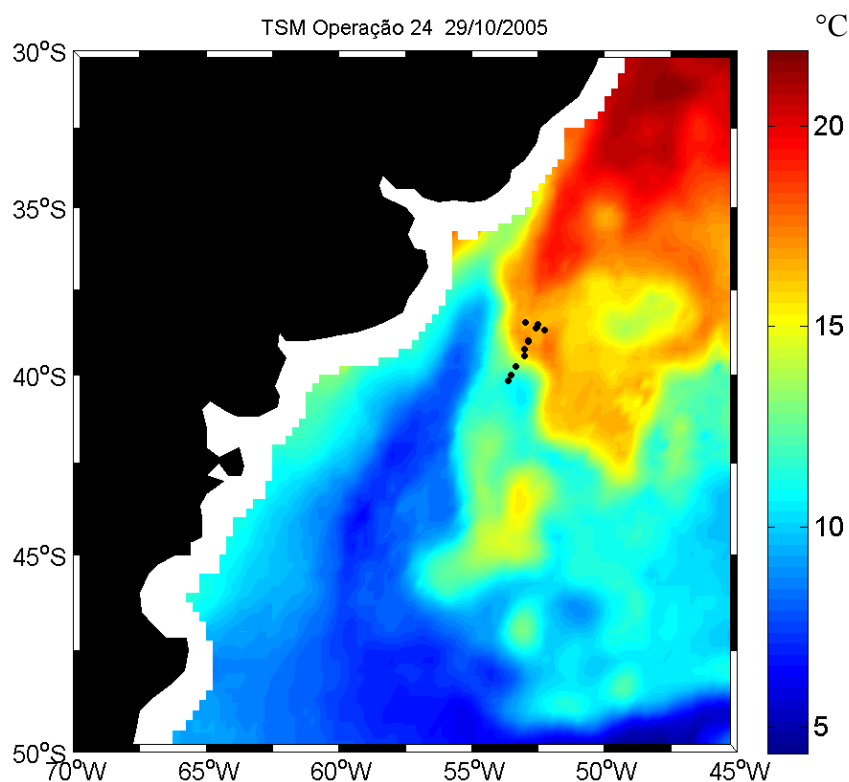


Figura 4.13: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP24. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT

Ao observar a seção de alta resolução (Fig. 4.14), nota-se a presença de *Interleavings* localizados na região de encontro das distintas correntes, entre as latitudes 39,03 °S e 39,45 °S, acima de 500 m de profundidade. Diferente da OP23, os *Interleavings* encontrados nessa OP apresentam maior espessura, chegando a dezenas de metros de extensão, como descrito na subseção 2.3.3.

No mapa de TSM (Fig. 4.13) é possível notar que a região onde foram realizadas as amostragens, em superfície, possui águas cuja temperatura está indicada no mapa por uma coloração de tonalidade esverdeada, indicando valores de temperatura em torno de 14 °C.

Esta camada de água é resultado da mistura das águas da CB com as águas da CM. Por ter menor densidade que as águas da CM, a CB vai passar então, no momento de encontro dessas duas correntes, a fluir sobre a CM. Neste caso, é possível observar uma camada de aproximadamente 100 m de profundidade de água com temperaturas entre 10 °C e 14 °C sobre águas mais frias ( $< 6^{\circ}\text{C}$ ) em latitudes superiores a 39,5 °S (Fig.4.14).

Ainda na Figura 4.14, é possível notar uma porção de água mais quente situada acima de 100 m de profundidade, localizada entre as latitudes 38,7 °S e 39,25 °S. Quando se observa a Figura 4.15(a), nota-se em dois perfis marcados por um círculo (localizados na Figura 4.14 nas latitudes 39,0 °S e 39,03 °S) um aumento de temperatura em superfície, chegando a valores maiores que 18 °C. Esta feição é caracterizada como uma termoclina sazonal, e sua formação está melhor descrita na subseção 2.2.2.

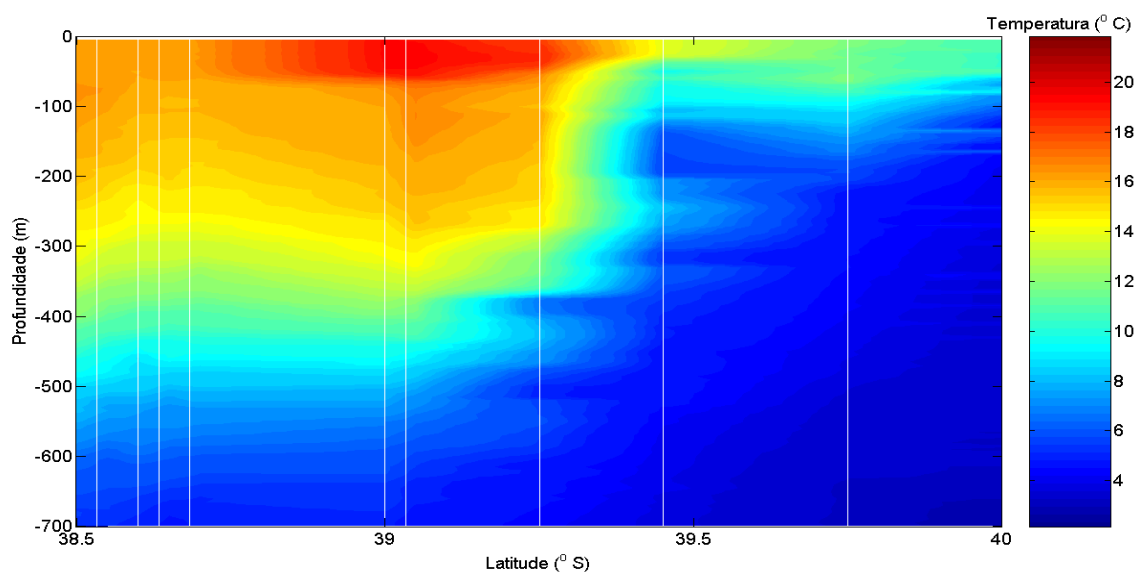


Figura 4.14: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP24. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.



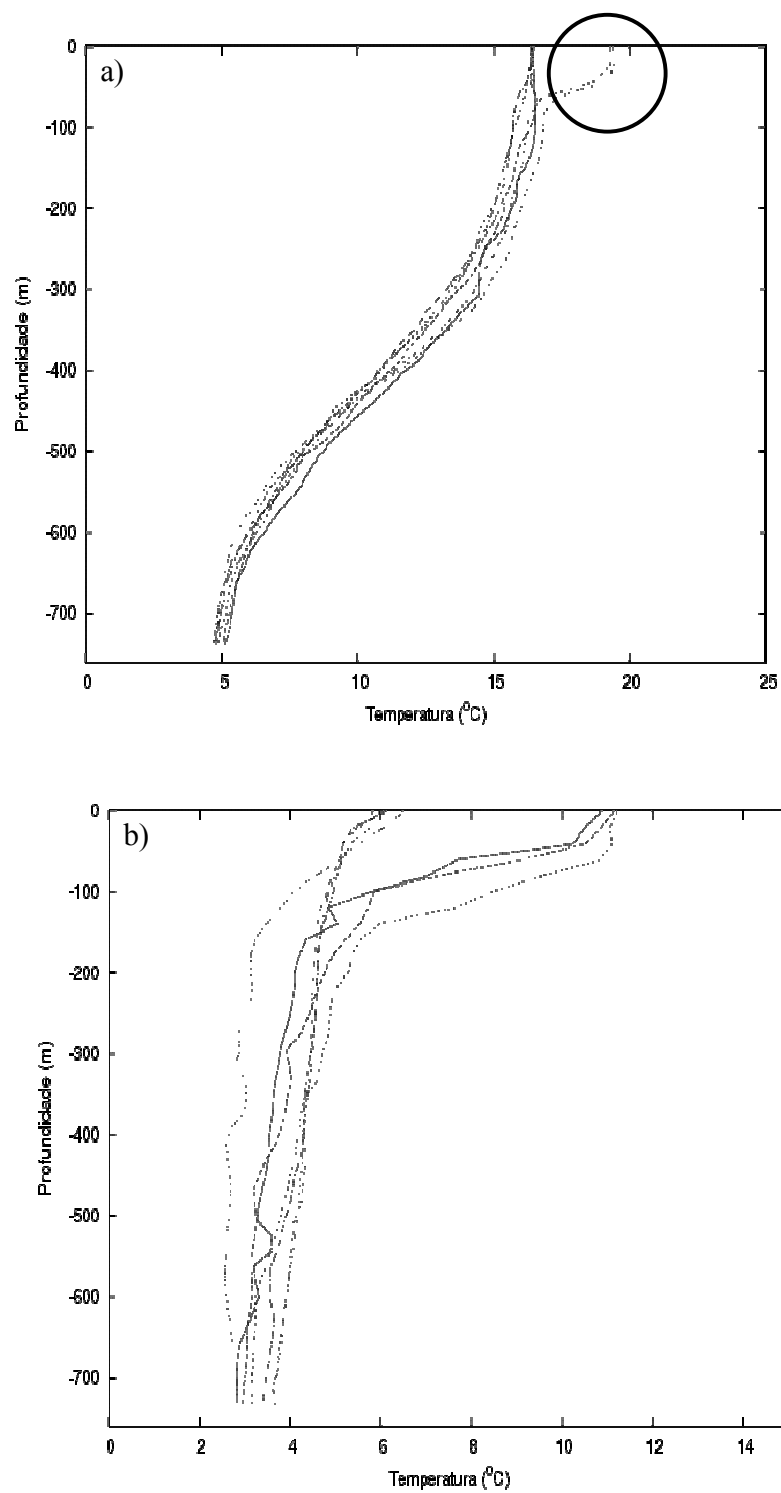


Figura 4.15: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP24. (a) CB; (b) CM. O círculo destaca a termoclina sazonal.

A média de temperatura entre os perfis obtidos, para cada corrente (Fig. 4.15) durante a OP24, mostra uma grande variação na temperatura denotada pelos desvios padrão aproximadamente até 100 m de profundidade, tanto para CB (Fig. 4.16, linha sólida da direita) quanto para a CM (Fig. 4.16, linha sólida da esquerda). A média de temperatura encontrada para as águas da CB em superfície foi de 17,2 °C, com desvio padrão de 1,42 °C. Para a CM, o valor da média de temperatura da água foi de 8,23 °C, com desvio de 2,65 °C.

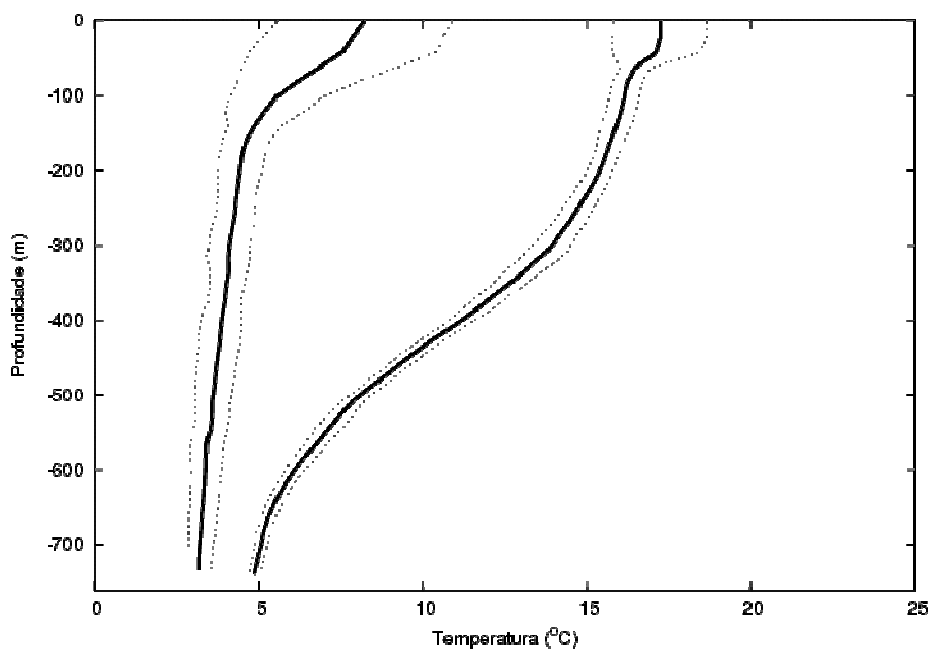


Figura 4.16: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP24. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### 4.1.5 Operação Antártica 25 (2006)

As coletas durante esta operação foram realizadas entre 38,8 °S e 39,8 °S de latitude e 53,5 °W e 55,5 °W de longitude, tendo apenas 1 estação sobre a CB. Foram realizados 9 pontos de amostragem no total, entre os dias 27 e 28 de outubro de 2006.

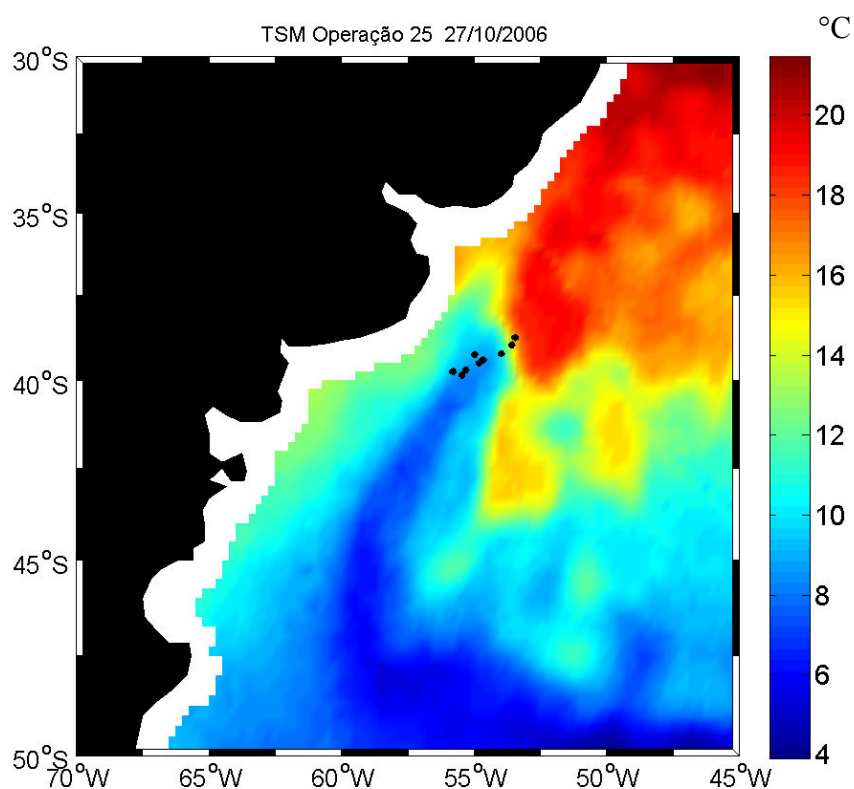


Figura 4.17: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP25. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT

No mapa de TSM (Figura 4.17), na região da CM, poucos graus a sul de 45 °S de latitude, é possível observar a presença de estruturas de forma circular a oval, com temperatura mais quente do que as águas adjacentes, indicando a ocorrência de vórtices de núcleo quente provenientes da CB.

Nesta operação apenas um perfil de XBT foi tomado na CB, os demais apresentam temperaturas características da CM (Fig. 4.18). Ao observar a Figura 4.18, é possível notar o acentuado gradiente de temperatura, típico do encontro de águas com temperaturas superiores a 16 °C, representativas da CB, com águas abaixo de 10 °C, representativas da CM.

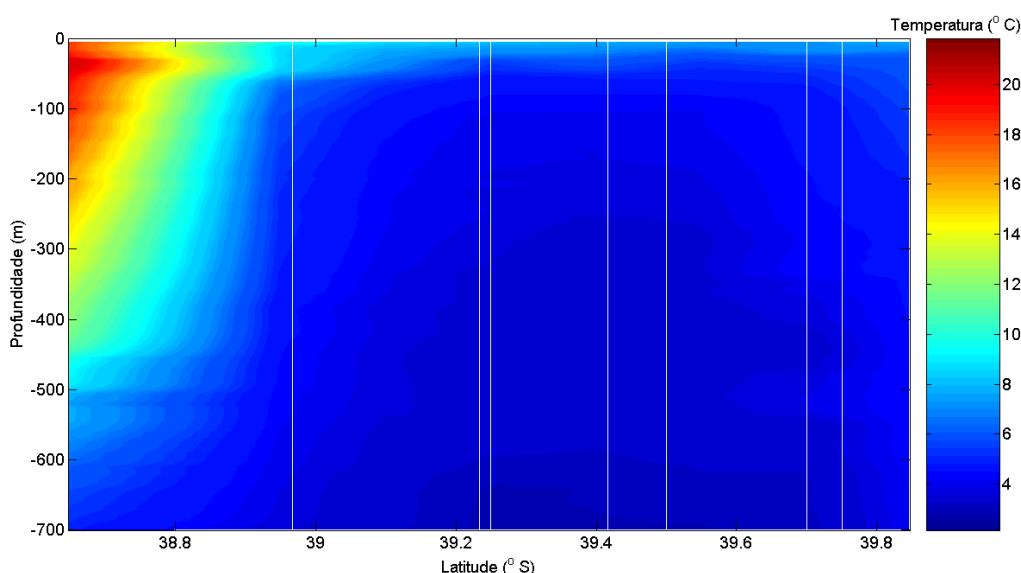


Figura 4.18: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP25. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

O único perfil referente a CB (Fig. 4.18) indica a presença de um gradiente de temperatura, representado pela variação de cores, até aproximadamente 500 m de profundidade. Na região a partir de 39 °S de latitude, em sentido ao sul, percebe-se a intrusão de águas com temperatura bem baixas, em torno de 4 °C, vindo de maiores profundidade até

aproximadamente 600 m. baseando-se nos valores de temperatura, na região em que ela se encontra e na literatura (Tomczak & Godfrey, 1994), esta água é caracterizada como a AIA, entretanto, não se tem informações sobre valores de salinidade. Acima desta, pode-se encontrar a Água Superior Subantártica, cuja temperatura é inferior a 10 °C.

A Figura 4.19 (a) apresenta o perfil referente a CB. É possível notar uma inversão de temperatura em superfície, até quase 100 m de profundidade, com valores em torno de 18 °C acima de águas ultrapassando o valor de 21 °C de temperatura. A partir desse ponto então, a temperatura decresce em um mesmo padrão que os perfis das OPs anteriores, chegando por volta de 5 °C aos 700 m. A Figura 4.19 (b) contém os perfis referentes as águas da CM. Todos os perfis apresentam um padrão muito similar, com temperatura superficial variando ente 7°C a 8 °C e temperatura a 700 m variando entre 3°C e 4°C.

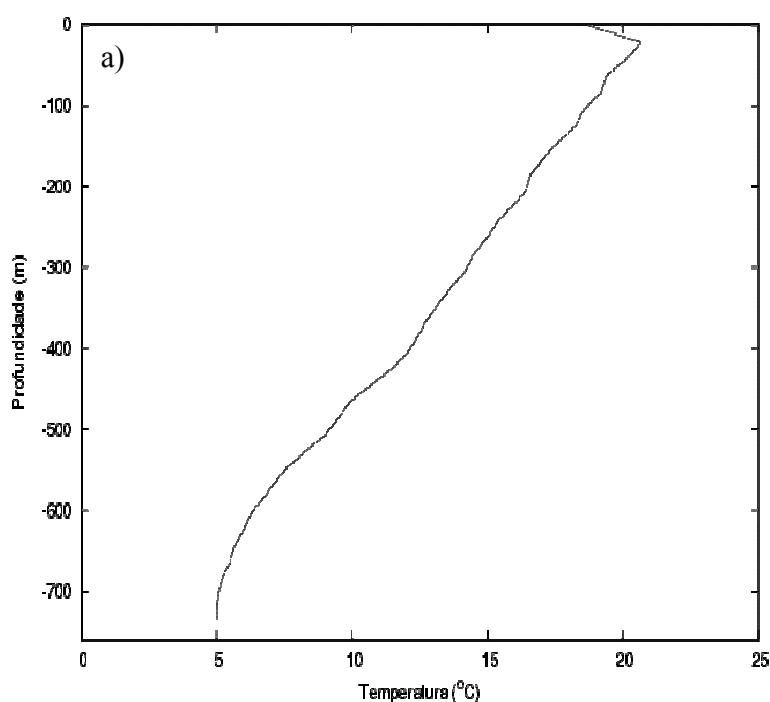


Figura 4.19: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP25. (a) CB; (b) CM. (cont.)

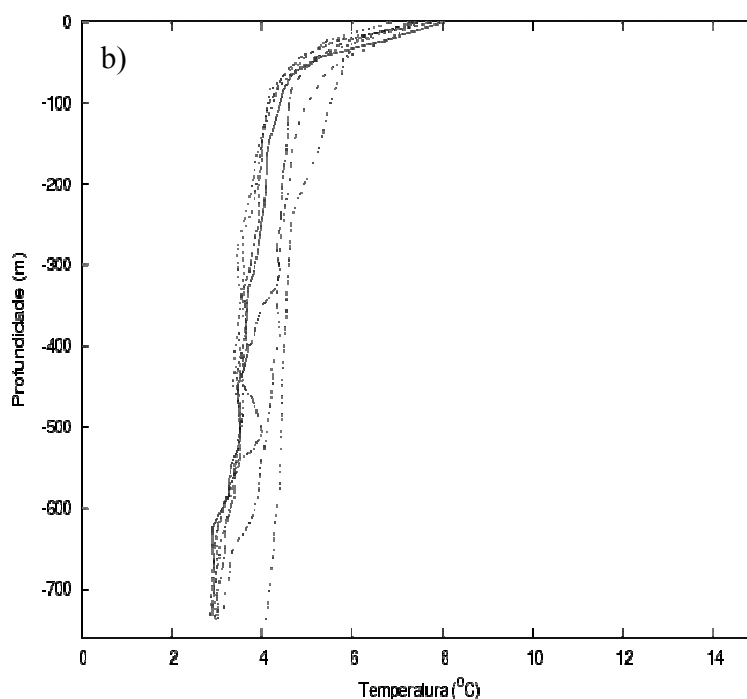


Figura 4.19: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP25. (a) CB; (b) CM. (Final)

A Figura 4.20 apresenta a média de temperatura em função da profundidade para a CM (Fig. 4.20, linha sólida da esquerda), e para a CB (Fig. 4.20, linha sólida da esquerda). Em virtude de somente um perfil correspondente a CB ter sido coletado, este foi considerado como a média da CB para a OP25. O valor de temperatura média encontrado para as águas da CM foi de 7,59 °C, com desvio padrão de 0,56 °C. O maior desvio ocorreu a 20 m de profundidade, sendo este de 0,82 °C. O valor de temperatura média encontrado para as águas da CB foi de 18,7 °C, e como já mencionado anteriormente, não existe desvio padrão para esta corrente durante esta OP.

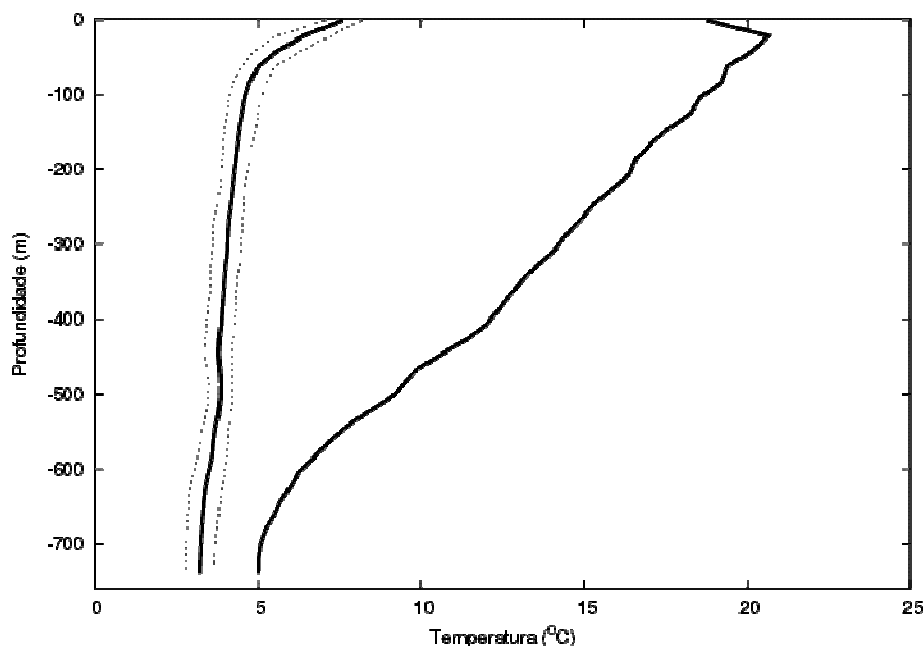


Figura 4.20: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP25. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### 4.1.6 Operação Antártica 26 (2007)

Os dados utilizados nesta operação foram coletados em uma área entre as coordenadas 39,5 °S e 40 °S de latitude e 54,5 °W e 55,5 °W de longitude durante os dias 16 e 17 de outubro de 2007. Esta operação apresentou o menor número de amostragens dentre as analisadas nesse trabalho.

Observando o mapa de TSM (Fig. 4.21), nota-se que os pontos de amostragem foram realizados em uma região com temperatura superficial em torno de 15 °C. A Figura 4.22 mostra que as águas mais quentes ( $> 13$  °C) se limitam nos primeiros 100 m da coluna d'água até a latitude de 39,7 °S. Esse fato pode ser explicado por se tratar de uma região de mistura entre as correntes, a área onde foram realizadas as estações era uma região onde se captou o espalhamento mais superficial da CB sobre a CM, em função da diferença de densidade entre as duas correntes.

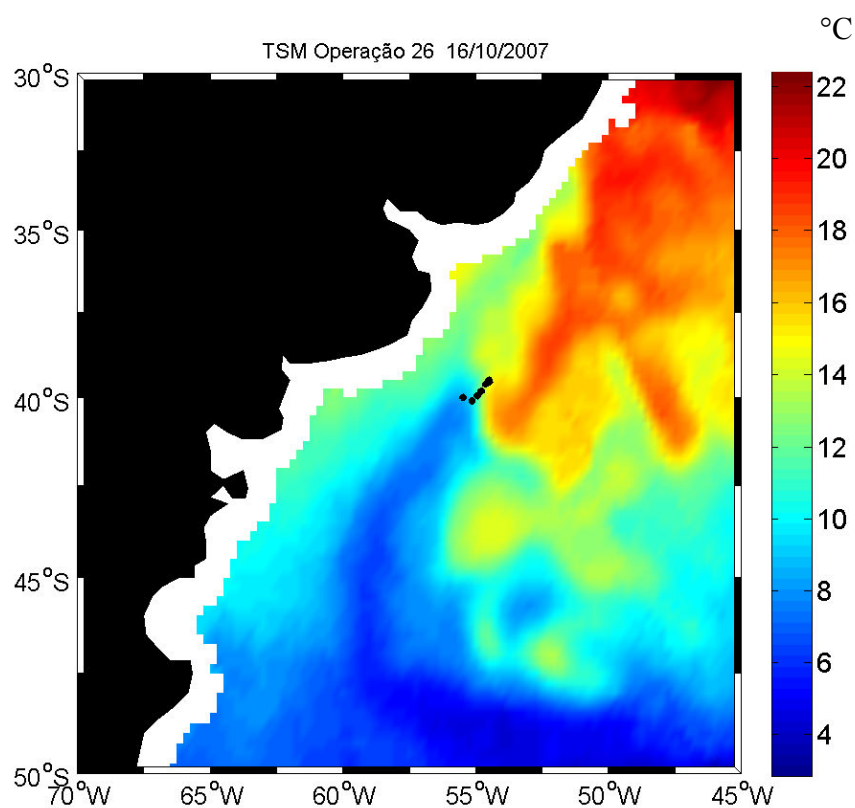


Figura 4.21: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP26. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT

Na região da CM (Fig. 4.22), a partir de 39,8 °S de latitude, podem ser observadas águas mais frias ( $T \leq 10$  °C) em superfície e uma homogeneidade na temperatura em maiores profundidades. Através do lançamento de XBT na latitude 40,1 °S, foi possível notar um afloramento de águas com temperaturas abaixo de 4 °C provenientes de profundidades maiores e atingindo aproximadamente 400 m de profundidade. Novamente, pode-se considerar essa água, com base em literatura, como a AIA, que se situa sob a Água Superior Subantártica.



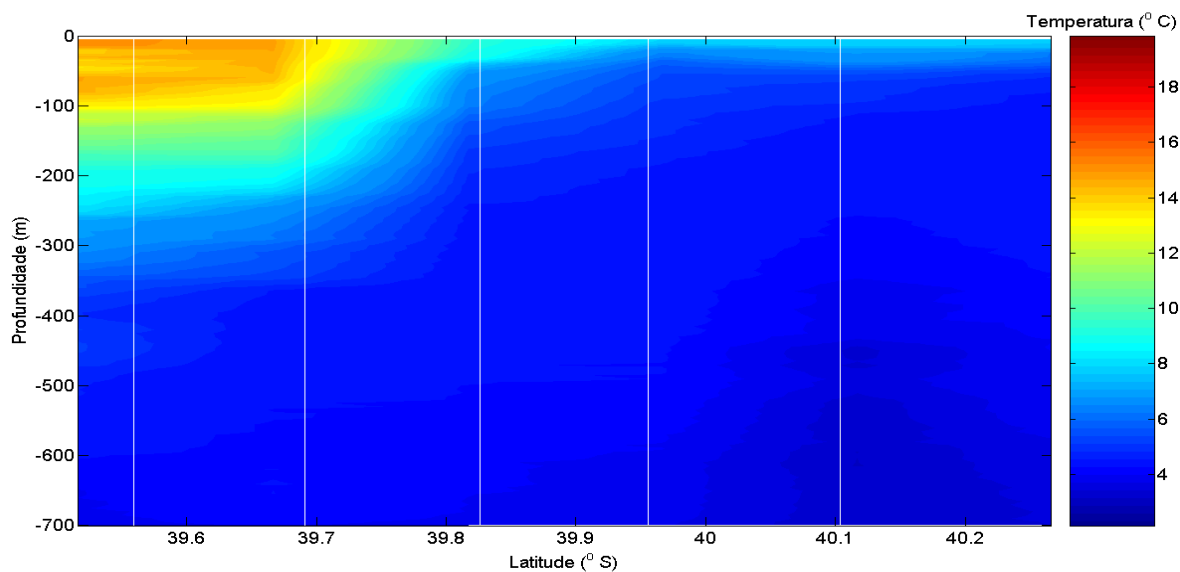


Figura 4.22: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP26. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

Os perfis correspondentes a CB (Fig. 4.23 (a)) mostram uma variabilidade em superfície até 100 m de profundidade, indicando a mistura de águas com diferentes características de temperatura ocorrendo no local. Logo abaixo desta camada se observa a presença da região de maior gradiente vertical de temperatura (termoclina). Os perfis que constituem a CM (Fig. 4.23 (b)), por outro lado, não apresentam grande variação de temperatura em função da profundidade entre si.

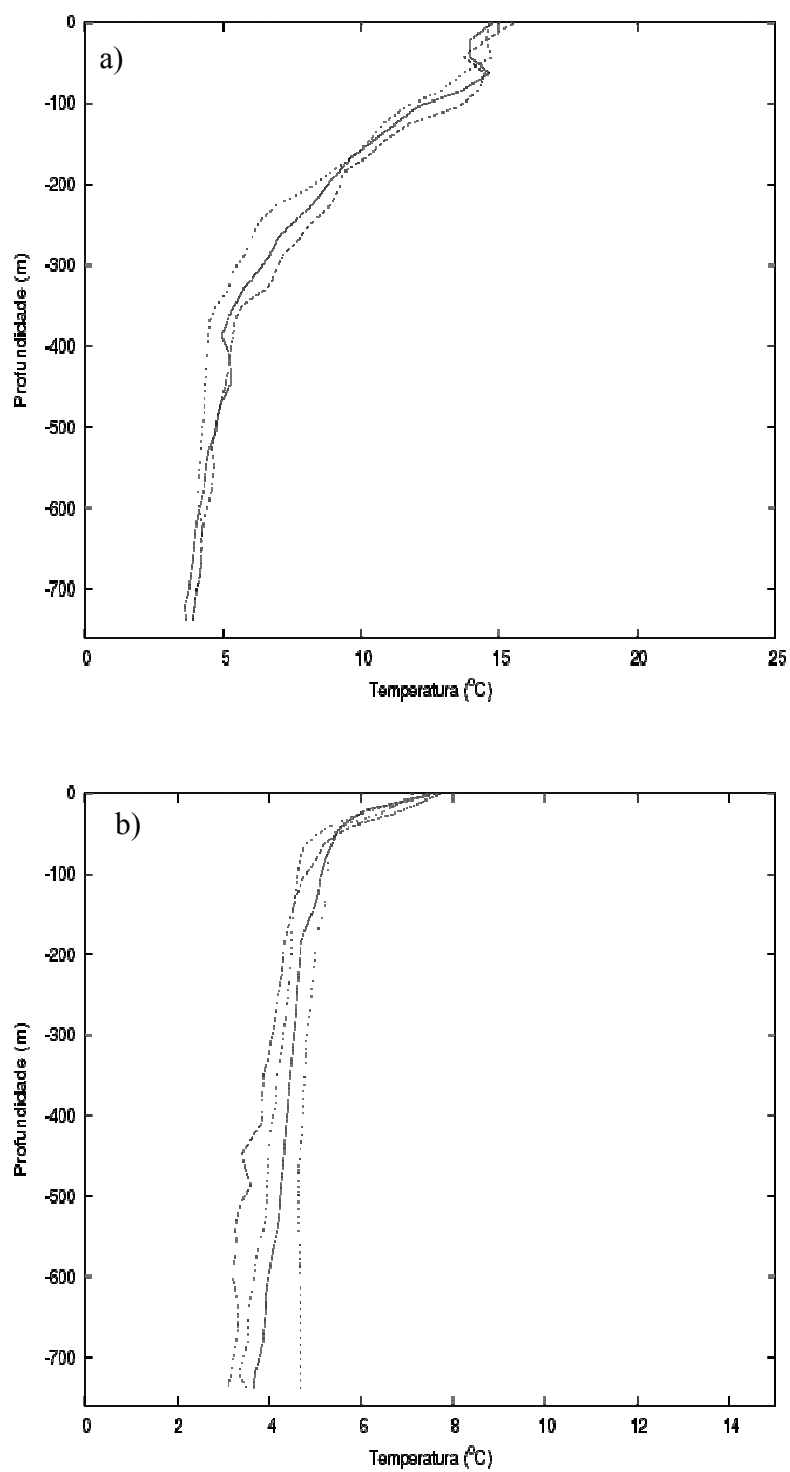


Figura 4.23: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP26. (a) CB; (b) CM.

Os perfis médios de temperatura para a CB (Fig. 4.24, linha sólida da direita) e para a CM (Fig. 4.24, linha sólida da esquerda) mostram que a diferença de temperatura entre as duas correntes a partir de 400 m é muito pequena não ultrapassando 2 °C. O comportamento apresentado pela média da CB na OP26 (Fig. 4.24, linha sólida da direita) é observado também para a média da CB da OP22 (Fig. 4.8, linha sólida da direita).

A média de temperatura superficial das águas da CB durante esta OP foi de 14,9 °C, com um desvio padrão de 0,49 °C. Para as águas da CM, o valor desta média foi de 7,82 °C, com desvio padrão de 0,78 °C (Fig. 4.24).

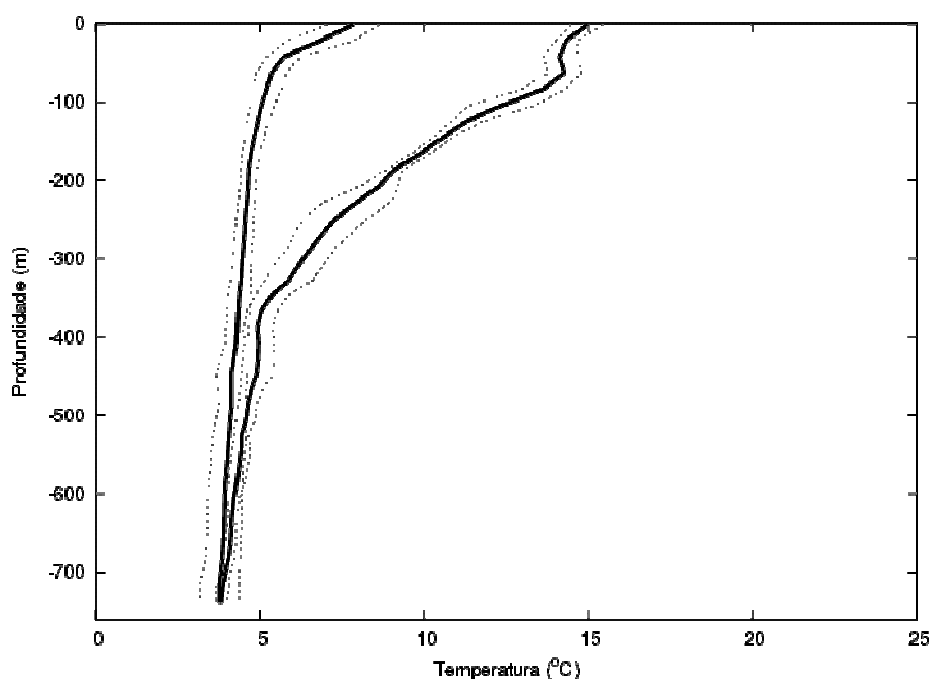


Figura 4.24: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP26. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### **4.1.7 Operação Antártica 27 (2008)**

A última operação cujos dados são utilizados nesse trabalho foi realizada entre os dias 13 a 15 de outubro de 2008, numa área de estudo compreendida entre 36,8 °S e 38,6 °S e 52,4 °W e 55 °W em um total de 12 estações.

No mapa de TSM (Fig. 4.25) é possível observar que as amostragens foram feitas em número e região de igual proporção para as duas correntes. A região referente a CB apresenta características termais em superfície típicas de águas tropicais, com alta temperatura (uma vez que não se tem informação sobre a salinidade) representada pela coloração variando de laranja ao vermelho forte. Na área próxima a região da latitude 30 °S, pode-se notar a presença de águas com temperaturas chegando a 20 °C, o que seria o núcleo da CB.

Na região da CM, as águas frias estão representadas pela coloração variando desde um azul bem claro até um azul mais escuro, indicando que a temperatura da água do mar, em superfície, está variando de aproximadamente 10 °C a 5 °C. A partir da latitude 45 °S em direção ao sul é possível perceber pela forte coloração azul e pela homogeneidade na região, que se trata do núcleo da CM.

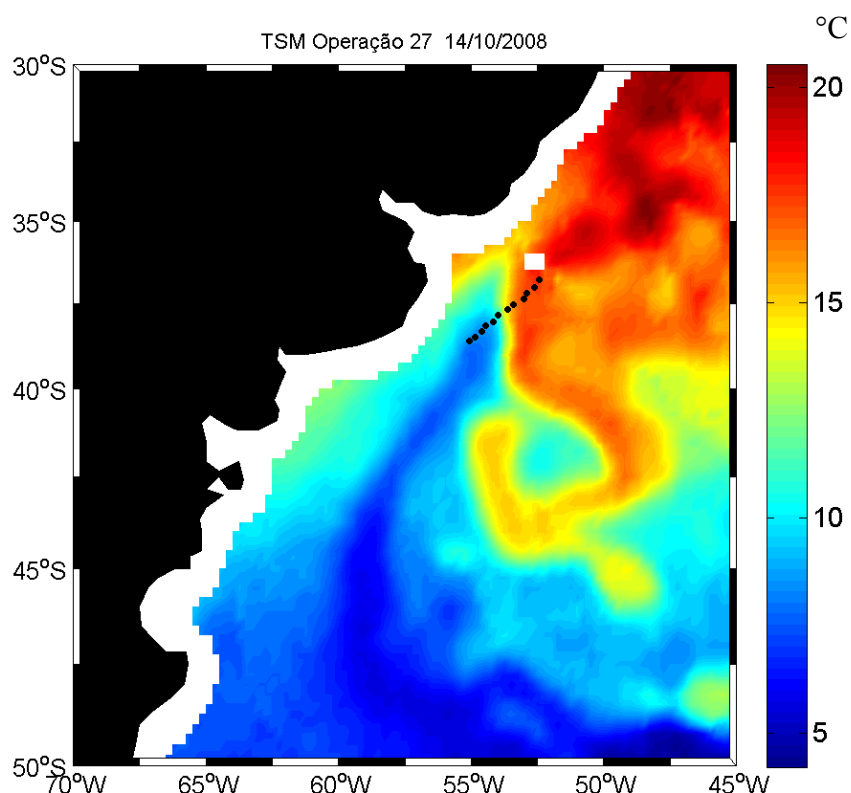


Figura 4.25: Mapa de TSM da região da CBM durante a OP27. Cada ponto escuro corresponde a um lançamento de XBT

Observando a Figura 4.26, na região entre 37,2 °S e 37,5 °S, nota-se a presença de estratos de água com diferentes temperaturas (*“Interleavings”*) se estendendo desde a região de subsuperfície até aproximadamente 500 m de profundidade. A área marcada por um círculo na figura ressalta a região com *Interleavings* mais extensos. A seta azul no mapa aponta para um volume de água com temperaturas superiores a 20 °C. Trata-se de um corpo de água quente proveniente do núcleo da CB.

Na região da CM, a coluna d’água se mostra bem homogênea. Em superfície nota-se uma temperatura um pouco mais elevada, em torno de 8 °C e, a partir de 50 m, esta passa a ser quase constante em torno de 4 °C.

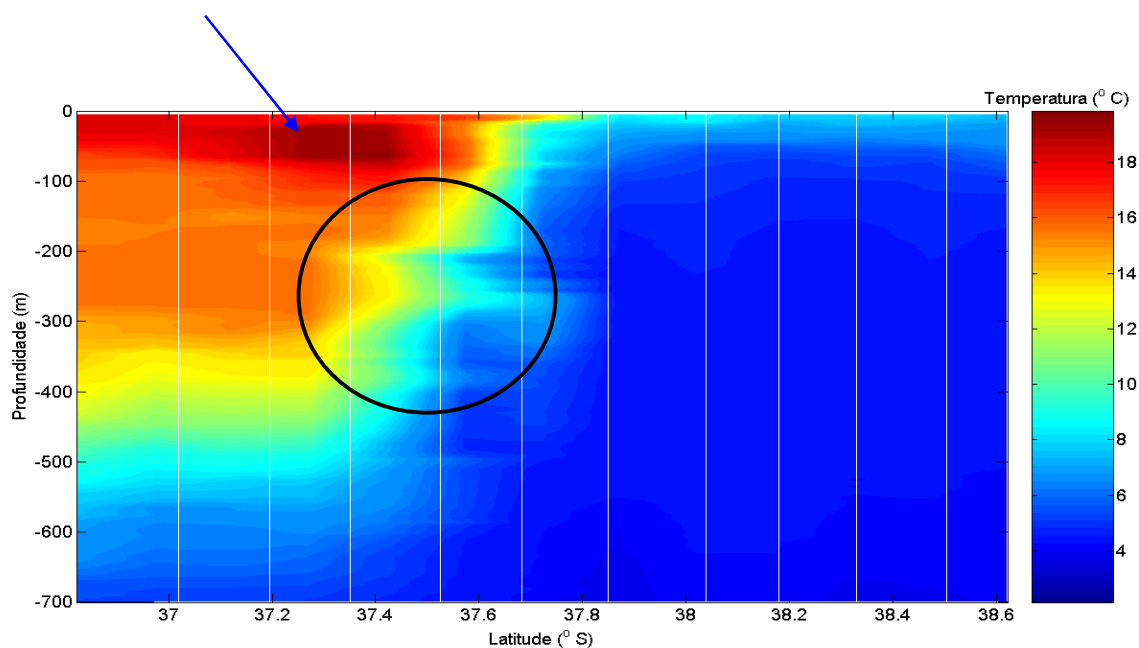


Figura 4.26: Seção de alta resolução obtida a partir dos perfis verticais de temperatura da OP27. Cada linha branca corresponde a um lançamento de XBT.

Na Figura 4.27(a), os perfis mostram a presença clara de uma camada isotermal na região da CB, que se estende de cerca de 100 m a quase 300 m de profundidade. A partir de 300 m é possível notar a brusca variação de temperatura de 15 °C para 5 °C em uma extensão de 400 m. Na região da CM, os perfis se mostram muito concisos em respeito a temperatura em todas as profundidades amostradas. Assim como observado em todas as subseções anteriores (com exceção subseção 4.1.4 – OP24), todos os perfis da CM apresentam a mesma forma (Fig. 4.27 (b)), com um forte gradiente de temperatura acima dos primeiros 100 m de profundidade.

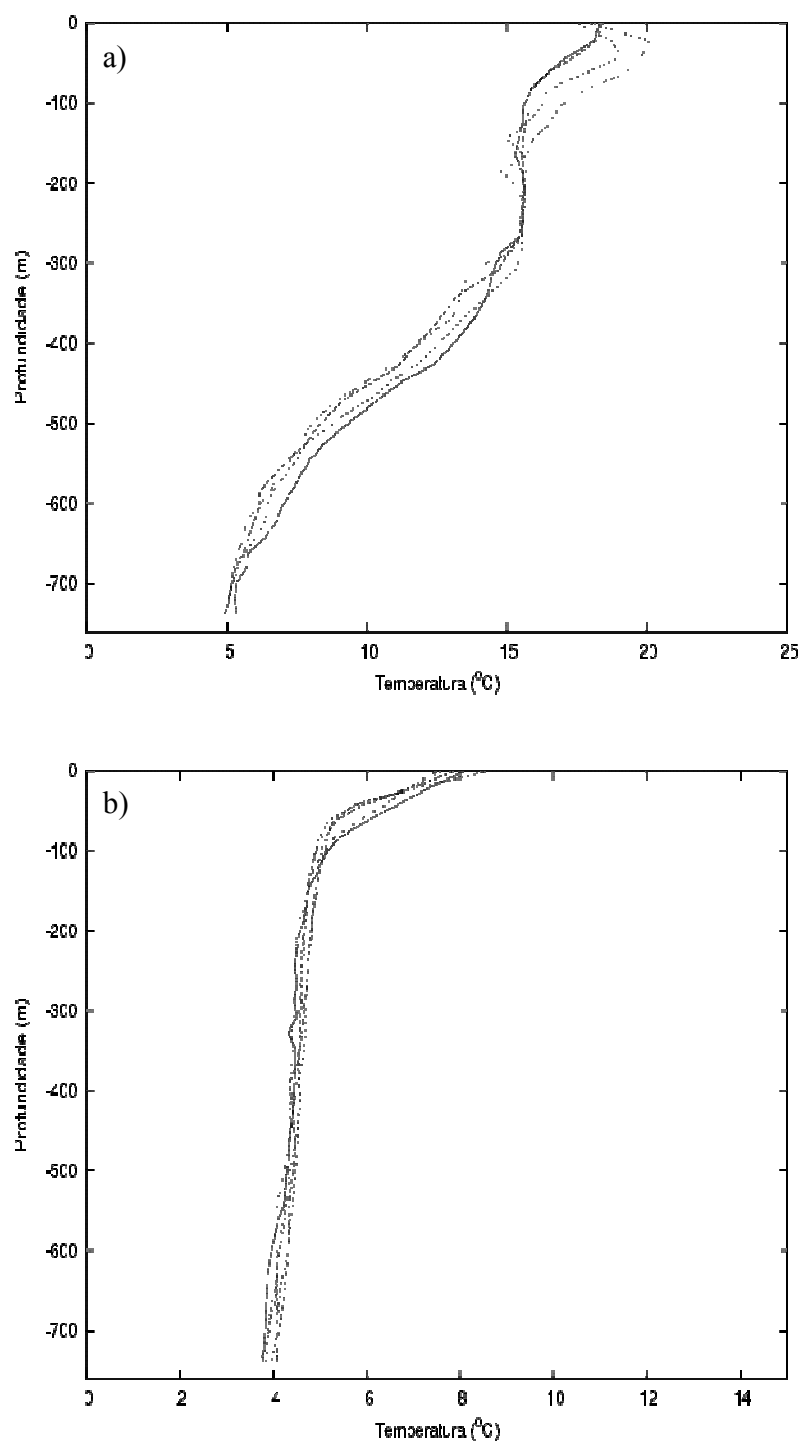


Figura 4.27: Perfis verticais de temperatura obtidos a partir do lançamento de XBT obtidos durante a OP27. (a) CB; (b) CM.

A Figura 4.28 mostra os perfis médios de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e para a CM (linha sólida da esquerda). A média de temperatura em superfície para as águas da CB durante esta OP foi de 18 °C, com desvio padrão de 0,37 °C. A temperatura média para as águas da CM foi de 7,9 °C, com desvio padrão também de 0,37 °C.

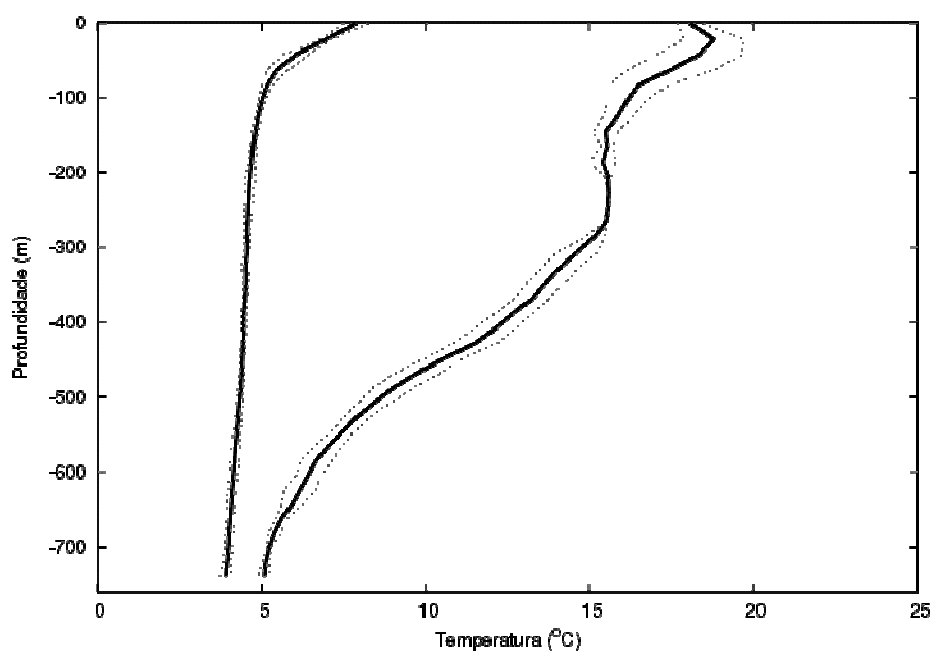


Figura 4.28: Perfil médio de temperatura para a CB (linha sólida da direita) e CM (linha sólida da esquerda) para dados coletados durante a OP27. As linhas pontilhadas representam o respectivo desvio padrão.

#### 4.1.8 Temperatura média superficial das águas da CB e da CM

Para cada ano de OP desse trabalho, foi calculada uma média de todos os perfis de temperatura analisados tanto para a região da CB como para a CM (Seção 4.1). O perfil de temperatura do vórtice, alvo de estudo da OP21, não foi utilizado neste cálculo, apenas os dados coletados na região da CM.

A visualização simultânea de todos os perfis médios correspondentes a CB para todas as operações (Fig. 4.29) mostra claramente que a média desta corrente na OP 22 (2003) e



OP26 (2007), destoa-se muito da média para os outros anos. Uma simples comparação entre todos os perfis médios, incluindo CB e CM mostra que a forma do perfil médio destes dois anos seria como um “perfil intermediário” entre as duas correntes. Deve-se levar em consideração que estas operações não foram feitas em anos consecutivos e tampouco possuem a mesma quantidade de sondas; na OP22 foram 40 sondas e na OP26 foram apenas 7.

A explicação para a discrepância encontrada entre os perfis das OP22 e OP26 é simples. Mesmo que pelo critério de separação das correntes (Capítulo 2) estes dados sejam considerados integrantes da CB, eles foram coletados em uma região de mistura, entre a CB e a CM, como mostram os mapas de TSM para as duas operações (Fig. 4.5 (OP22) e Fig. 4.21 (OP26)). Além disso, as seções de alta resolução (Fig. 4.6 (OP22) e Fig. 4.22 (OP26)) apresentam claramente a presença de uma massa de água mais quente próxima a superfície.

Desta forma, chega-se a conclusão que os dados utilizados na obtenção destes dois perfis médios, referentes as OP22 e OP26 mostram o espalhamento das águas da CB sobre as águas provenientes da CM na região de mistura. Estes perfis, muito provavelmente, foram coletados em uma região onde já não se capta mais uma grande parcela representante da CB, e sim a parte final do seu escoamento sobre a CM. Isto é melhor visto na Seção 4.5 desse trabalho, onde é realizada uma comparação entre os dados obtidos durante as OPs e os dados climatológicos do WOA05.

Na região da CB, a maior variação ocorreu em superfície, com valores entre 15 °C e 20 °C. É importante ressaltar que todos os perfis da CB apresentam termoclina sazonal. Segundo Stewart (2004), estaria em uma fase de reaparecimento da termoclina sazonal, com profundidades variando de 50 a 100 dbar (Fig. 2.1). Em relação a termoclina oceânica, os perfis apresentam grande similaridade no que diz respeito a profundidade desta e na forma da curva do perfil.

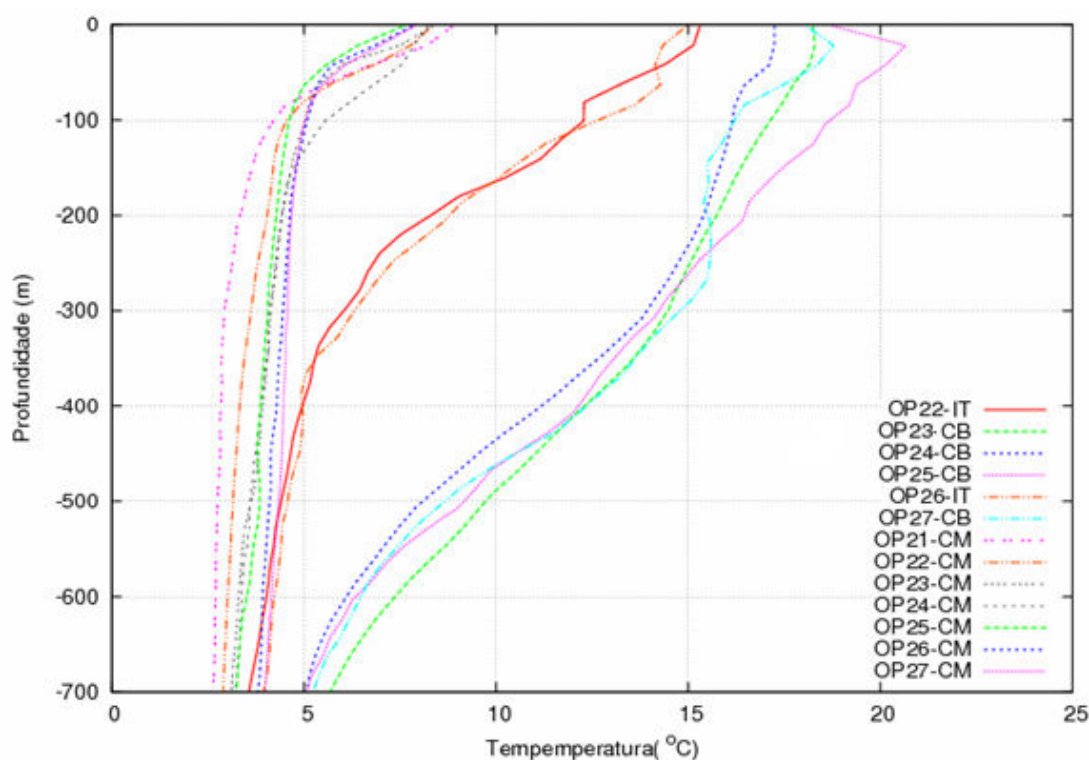


Figura 4.29: Médias de temperatura da CB, CM e perfis coletados em região intermediária entre as duas correntes obtidos com os dados provenientes das OP21 – OP27. Os perfis que apresentarem temperatura superficial acima de 15 °C correspondem à CB.

Ao longo dessa seção foram apresentados os resultados obtidos através da análise dos perfis de temperatura coletados durante as OP21 a OP27. Uma análise e discussão mais aprofundada destes resultados que inclui o cálculo da profundidade da termoclina de cada corrente para todas as OPs e a comparação entre os dados coletados durante as OPs e os dados referentes a média climatológica da região da CBM proveniente do WOA05 está escrita nas seções seguintes deste capítulo.

## 4.2 Perfis horizontais e verticais de temperatura do WOA05

Os mapas de climatologia da TSM com dados do WOA05 (Fig. 4.30) mostram que o encontro das correntes oceânicas frias e quentes é indicado por zonas de forte gradiente de TSM na região da CBM e que há grande variabilidade espacial da TSM na região de

encontro dessas correntes. Pode-se notar que durante o mês de outubro (Fig. 4.30(a)) as águas com TSM abaixo de  $12,5^{\circ}\text{C}$  chegam a alcançar as proximidades de  $35^{\circ}\text{S}$  de latitude na região da plataforma e talude, entre as longitudes  $55^{\circ}\text{W}$  e  $60^{\circ}\text{W}$ , representativas da CM. Valores de temperatura superiores a  $16^{\circ}\text{C}$  são encontrados nas latitudes menores que  $35,5^{\circ}\text{S}$ .

Isso pode ser explicado pelo enfraquecimento dos ventos sobre a bacia do ATS, que reduz a intensidade do giro oceânico subtropical e, como consequência, causa a retração da CB (Peterson & Stramma, 1991; Matano *et al.*, 1993). O sistema de pressão atmosférico subtropical move o seu centro de alta pressão para o norte durante o inverno e se intensifica. Como consequência, a CSE também é intensificada e, deslocada  $5^{\circ}$  de latitude para o norte, em relação a sua posição principal durante o verão. De acordo com Garzoli e Garraffo (1989), essa variação espacial da CBM pode estar relacionada com a variabilidade de larga escala de ventos e da CSE, se onde origina a CB.

Durante o mês de novembro é possível acompanhar o afastamento da isoterma de  $12,5^{\circ}\text{C}$  da plataforma continental e talude mais para o sul, porém ainda é possível notar um prolongamento com uma forma similar a uma senóide situado a aproximadamente  $40^{\circ}\text{S}$ , entre  $55^{\circ}\text{W}$  e  $60^{\circ}\text{W}$  (Fig. 4.30(c)). Nota-se também o avanço de temperaturas mais altas no sentido sul. A isoterma de  $17,5^{\circ}\text{C}$  avança mais  $2^{\circ}$  ao sul, chegando próxima a  $40^{\circ}\text{S}$ .

Durante o mês de dezembro (Fig. 4.30 (c)), valores de temperatura acima de  $16^{\circ}\text{C}$  chegam a quase ultrapassar os  $40^{\circ}\text{S}$  de latitude, na região compreendida entre  $50^{\circ}\text{W}$  e  $55^{\circ}\text{W}$  de longitude. Acima dessa isoterma estão as águas típicas da CB. Um aquecimento de água ocorre também mais ao sul, sendo possível observar que a isoterma de  $12,5^{\circ}\text{C}$ , que no mês anterior se encontrava a  $40^{\circ}\text{S}$ , entre as longitudes  $55^{\circ}\text{W}$  e  $60^{\circ}\text{W}$  aproximadamente, agora pode ser localizada a mais  $5^{\circ}$  ao sul e com um formato mais retilíneo ao longo dos meridianos, em uma latitude variando de  $42,5^{\circ}\text{S}$  a  $45^{\circ}\text{S}$  aproximadamente.

A média da TSM, entre os meses de outubro a dezembro (Fig. 4.30 (d)), da propagação da CB em direção ao sul é bastante similar a média mensal de TSM para o mês de novembro.

Os 2 pontos marcados com asteriscos escuros no mapa (Fig. 4.30 (a – d)) são as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W) dos quais foram obtidos os perfis médios de temperatura, que representam a média climatológica que será utilizada na comparação com os dados coletados *in situ* durante as OPs, apresentada na Seção 4.5.

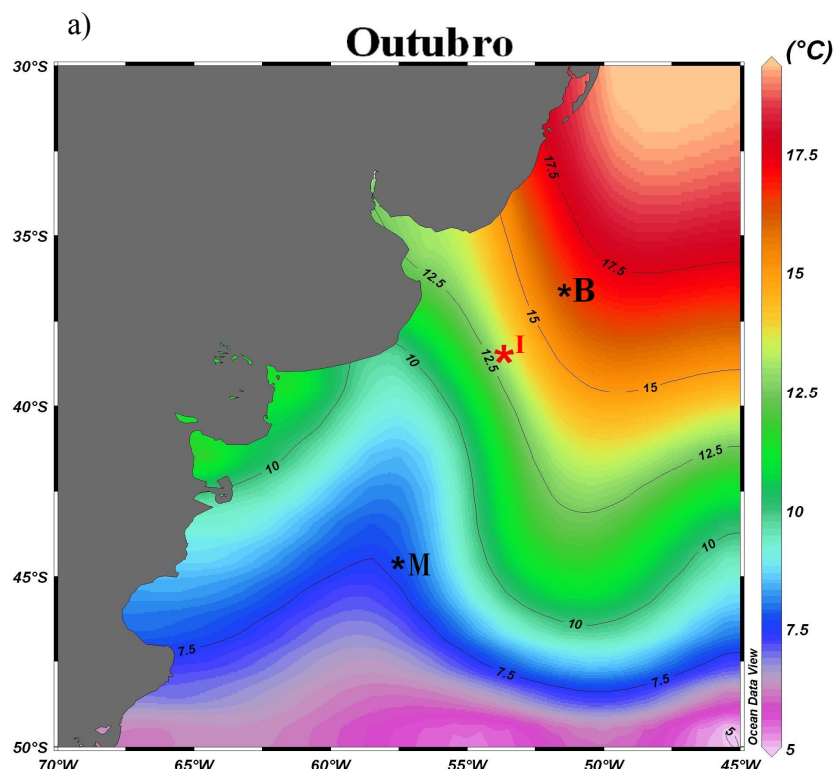


Figura 4.30: Mapas climatológicos de TSM para a região da CBM obtidos a partir dos dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro. Em asteriscos escuros estão as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), do ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W).

(cont.)

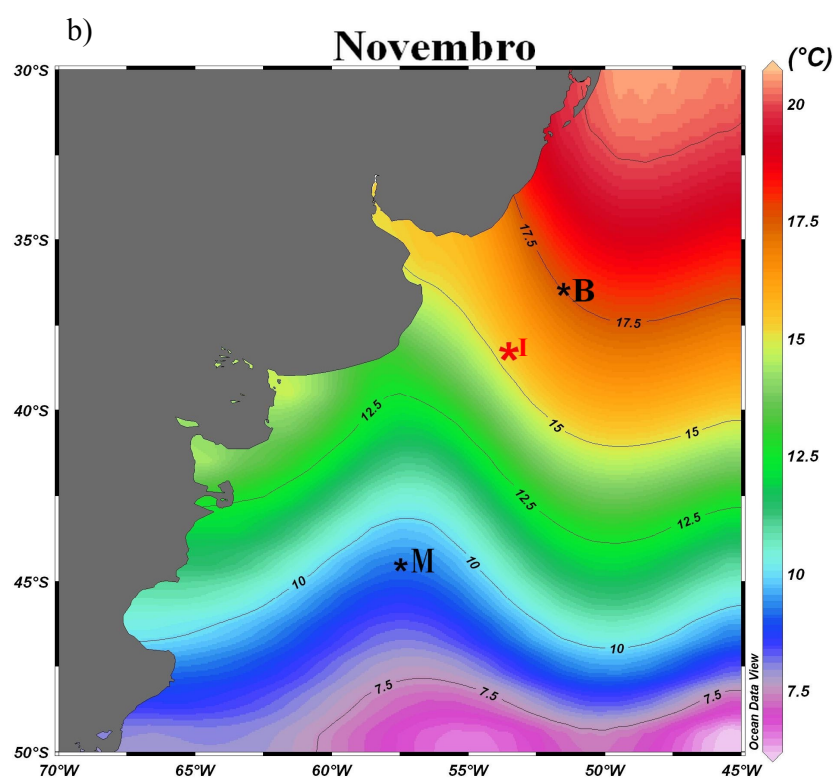


Figura 4.30: Mapas climatológicos de TSM para a região da CBM obtidos a partir dos dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro. Em asteriscos escuros estão as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), do ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W).

(cont.)

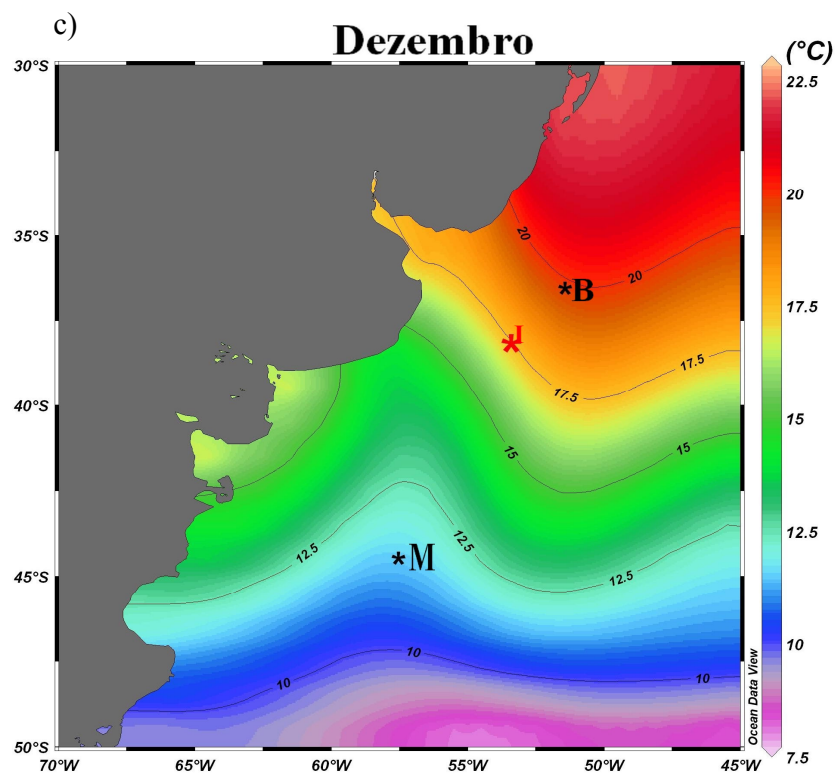


Figura 4.30: Mapas climatológicos de TSM para a região da CBM obtidos a partir dos dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro. Em asteriscos escuros estão as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), do ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W).

(cont.)

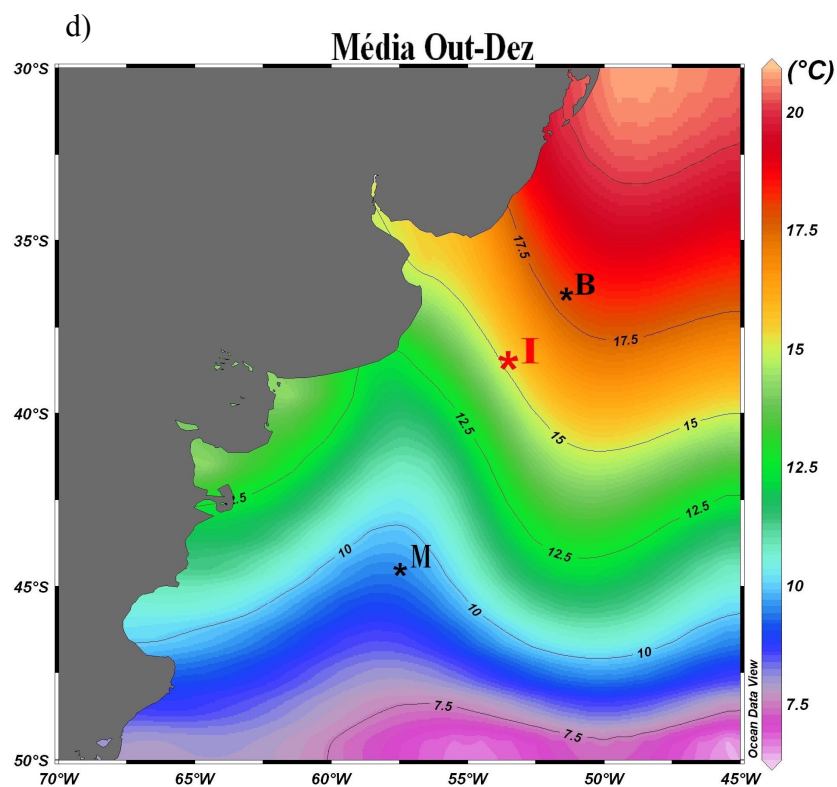


Figura 4.30: Mapas climatológicos de TSM para a região da CBM obtidos a partir dos dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral de outubro a dezembro. Em asteriscos escuros estão as posições do ponto B (36,5 °S e 51,5 °W), do ponto M (44,5 °S e 57,5 °W) e o asterisco vermelho indica o perfil intermediário (I) (38,5 °S e 53,5 °W).  
(final)

Na Figura 4.31 estão representados os perfis climatológicos obtidos entre os dois pontos (B e M) demarcados na Figura 4.30. O critério para a escolha dos pontos procurou abranger a região de lançamentos de XBT durante as operações antárticas (OP21 a OP27) e conterem águas da CB e da CM ao mesmo tempo.

Observando a Figura 4.30 (a) referente a média climatológica de outubro, percebe-se que a isoterma de 12,5 °C se mantém a uma profundidade de aproximadamente 300 m. A medida

que se avança em latitude, rumo ao sul, pode-se notar o levantamento dessa isoterma sendo que esta persiste em subsuperfície até 39 °S.

Durante o período que se segue, a profundidade da isoterma de 12,5 °C permanece aproximadamente constante, porém ocorre um maior avanço desta em direção ao sul, tanto para o mês de novembro (Fig. 4.31 (b)) quanto para o mês de dezembro (Fig. 4.31 (c)). Durante este ultimo mês esta penetração é ainda maior. Isso mostra que o avanço da CB em direção ao sul, em relação a média entre os meses de Out. a Nov., ocorre principalmente nas camadas mais superficiais do oceano na região da CBM.

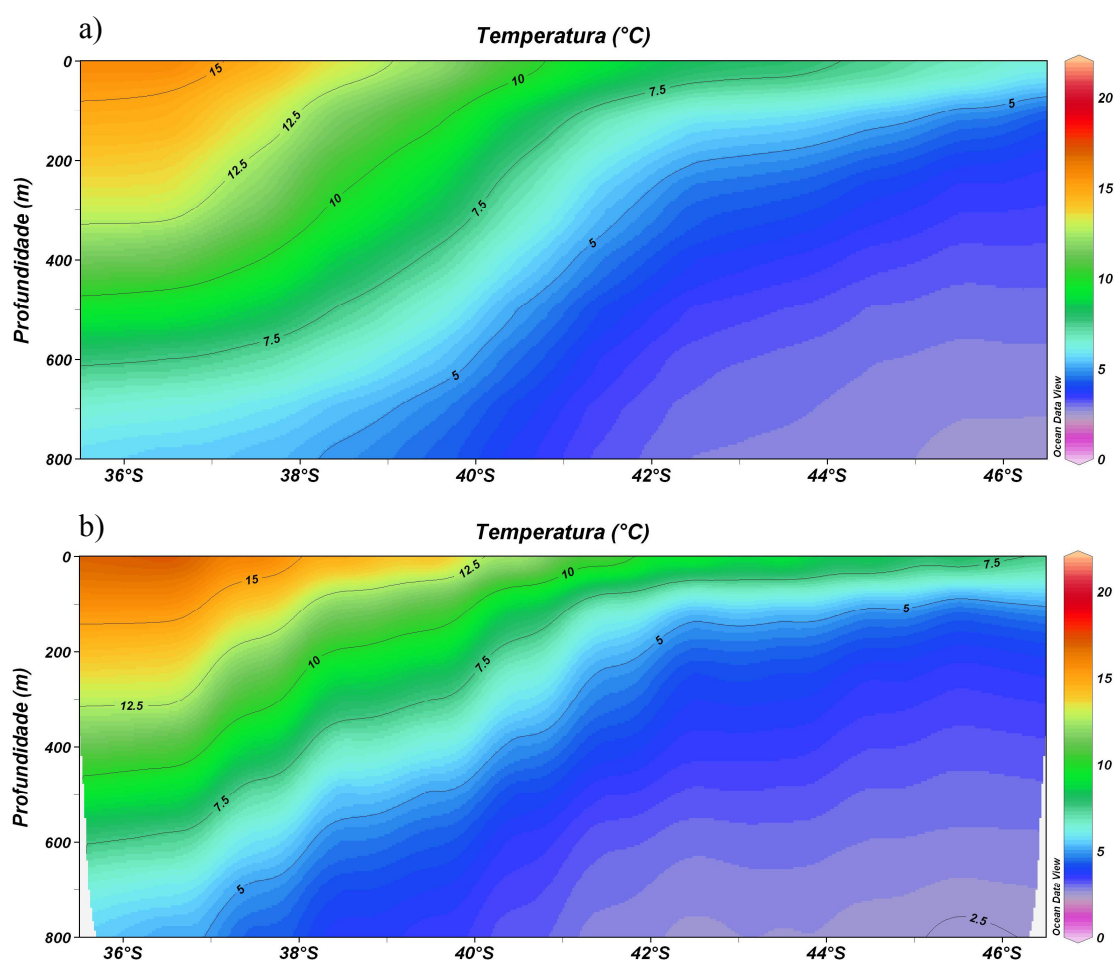


Figura 4.31: Seções de alta resolução obtidas a partir de dados do WOA05. Para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro. (cont.)



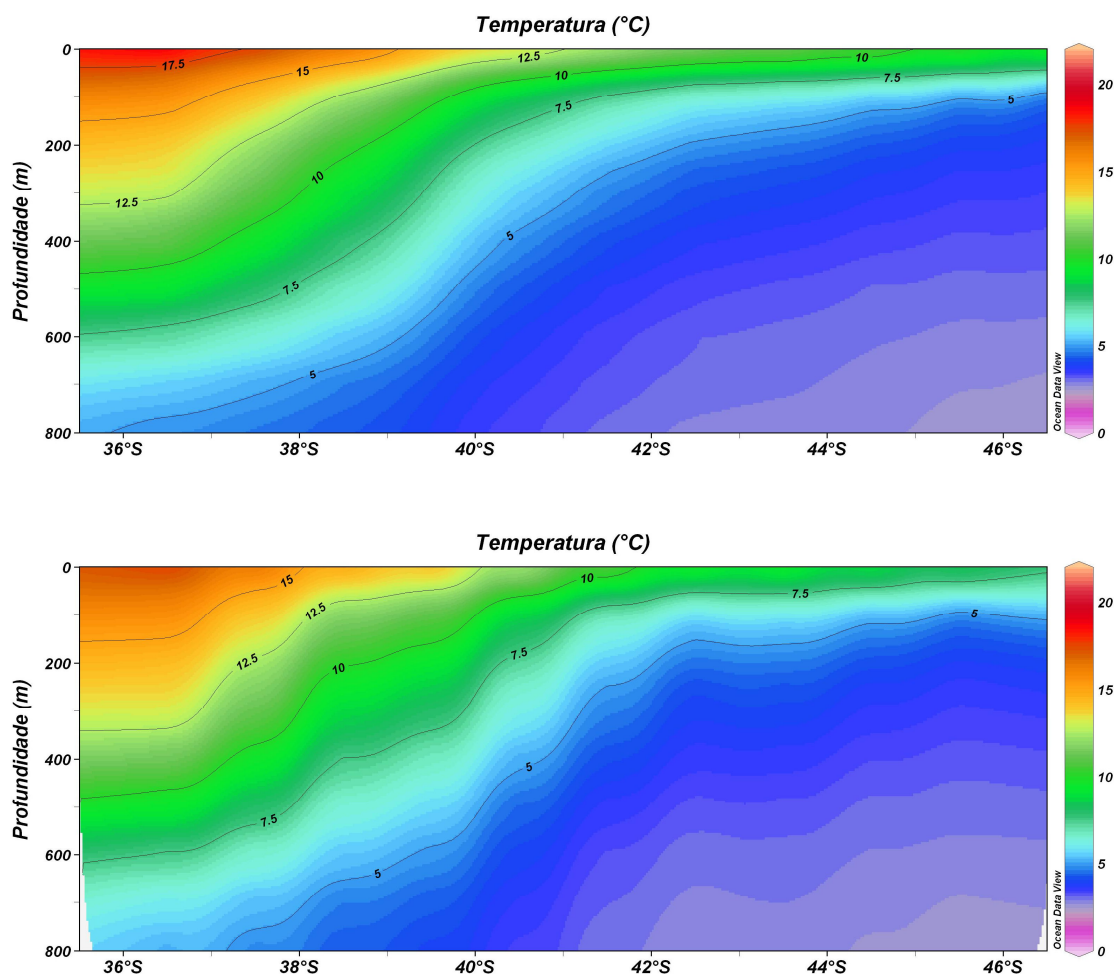


Figura 4.31: Seções de alta resolução obtidas a partir de dados do WOA05. Para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro. (final)

De maneira similar, ao que se observa na Figura 4.30 (d), a média trimestral de outubro a dezembro é bastante similar a média para o mês de novembro. Os perfis que representam a média climatológica de temperatura, para os pontos B e M demarcados na Figura 4.30 (a – d) estão apresentados a seguir (Fig. 4.32 (a – d)).

A média climatológica para o mês de outubro (Fig. 4.32 (a)), no ponto de coordenadas 36,5 °S e 51,5 °W, caracteriza claramente um perfil típico da CB, com grande variação de temperatura e média acima de 15 °C nas camadas superficiais e uma camada isotermal mais

profunda, passando de 150 m. Para este mês, os valores de desvio padrão disponibilizados pelo WOA05 para este ponto estão apenas disponíveis para algumas profundidades do perfil. O ponto M situado a 44,5 °S e 57,5 °W apresenta características típicas da CM, com temperatura média superficial em torno de 7,5 °C e abaixo de 100 m, apresenta temperatura quase homogênea em torno de 2,5 °C. Não existem dados para desvio padrão para algumas profundidades para o mês de outubro.

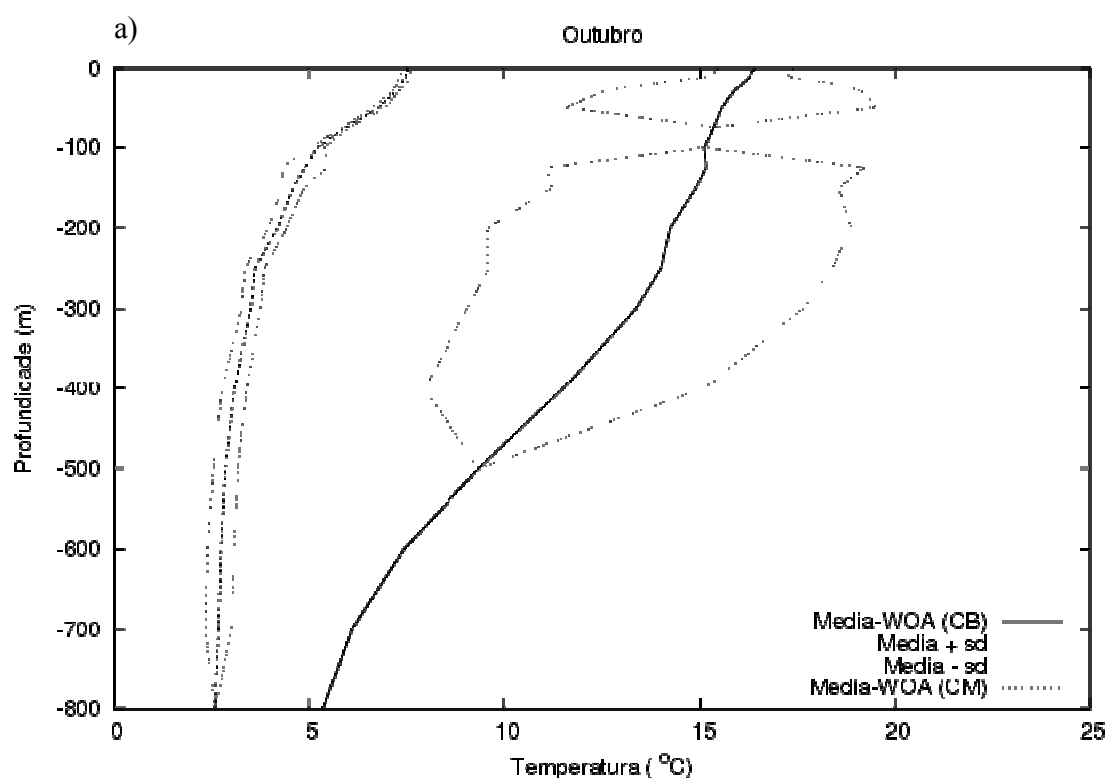


Figura 4.32: Perfis de temperatura representando a média histórica dos pontos demarcados na Figura 4.30 para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro. (cont.)

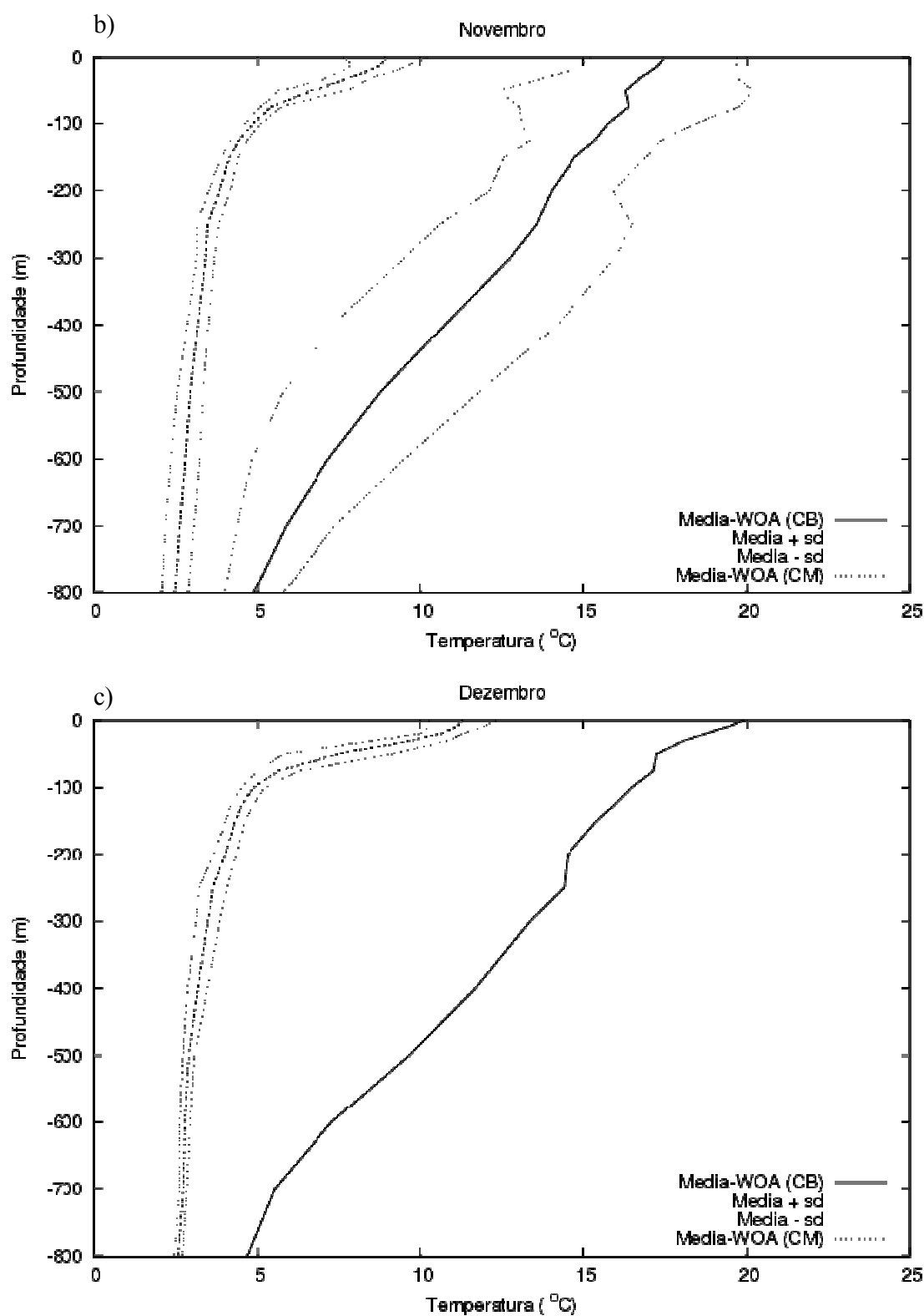


Figura 4.32: Perfis de temperatura representando a média histórica dos pontos demarcados na Figura 4.30 para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro. (cont.)

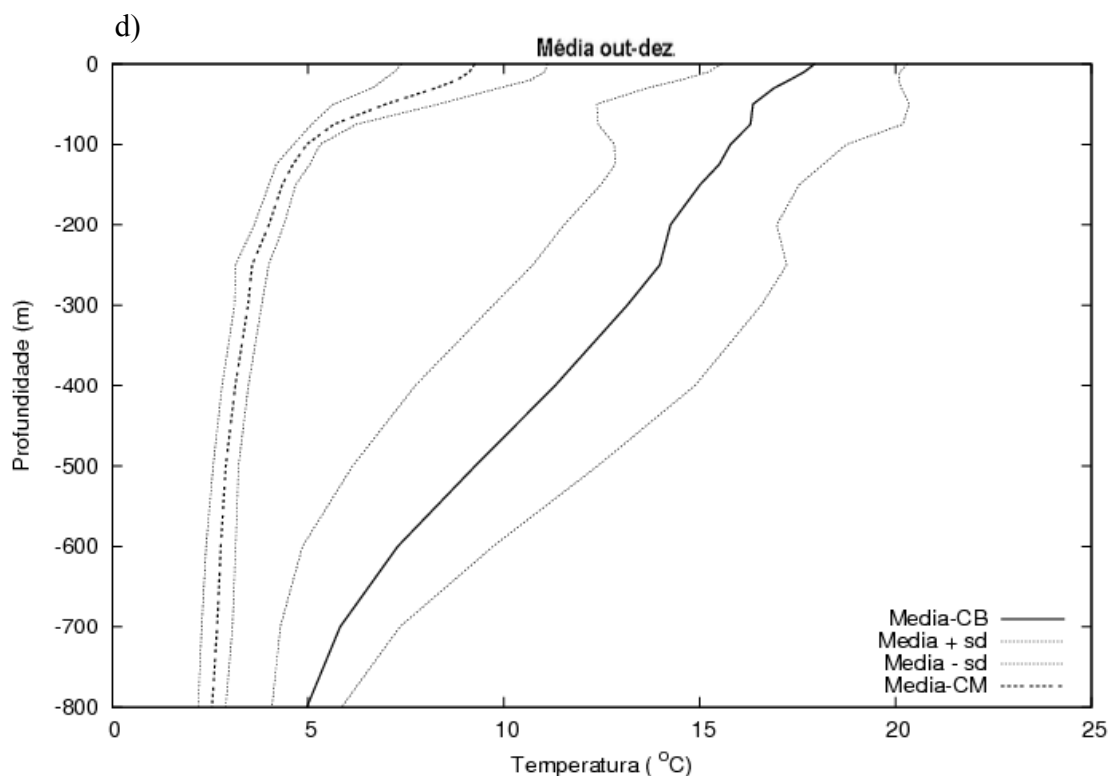


Figura 4.32: Perfis de temperatura representando a média histórica dos pontos demarcados na figura 4.30 para os meses de (a) outubro, (b) novembro, (c) dezembro e (d) média trimestral de outubro a dezembro. (final)

O mês de novembro (Fig. 4.32 (b)) segue um padrão similar ao mês de outubro tanto para o ponto representativo da CB quando para o da CM. A principal diferença entre os perfis para o ponto 44,5 °S e 57,5 °W nos meses de outubro (Fig. 4.32 (a)) e novembro (Fig. 4.32 (b)) é o aumento do gradiente vertical de temperatura para profundidades acima de 100 m.

Tal diferença está também presente no mês de dezembro (Fig. 4.32 (c)), onde a temperatura superficial para este ponto ultrapassa os 10 °C. Já o perfil para o ponto 36,5 °S e 51,5 °W no mês de dezembro apresenta uma camada superficial com grande variação de temperatura, porém com uma camada isotermal bastante profunda, que chega a ultrapassar

250 m (fig. 4.32 (c)). Não são fornecidos valores de desvio padrão para este ponto durante esse mês.

A média climatológica da temperatura em função da profundidade (Fig. 4.32 (d)) apresenta valores que compreendem os 3 meses anteriormente descritos (Fig. 4.32 (a-c)), não apresentando assim nenhuma diferença, que a pudesse tornar “anômala” em relação aos demais meses. A comparação desses perfis com os dados das OPs pode ser acompanhada na seção 4.5.

Uma vez que os valores de desvio padrão de temperatura para as águas da CB para o mês de outubro estão ausente para algumas profundidades e o mês de dezembro não possui tal desvio no ponto escolhido, é apenas possível analisar o mês de novembro e a média entre os meses de out. a dez.. Entretanto, tais perfis médios se assemelham. É possível notar que em profundidades mais rasas, acima de 100 m, é onde estão localizadas as maiores variabilidades de temperatura.

No intervalo de 100 a 200 m, há uma redução dessa variação, entretanto, a partir de 300 m esse desvio padrão aumenta novamente e então vai lentamente se reduzindo até a profundidade de 800 m. O mês de outubro, apesar de apenas algumas profundidades apresentarem os desvios de temperatura, foi o que mais variou dos 100 aos 400 m.

### **4.3 Variação da profundidade da termoclina**

Como visto no Capítulo 2, a termoclina é a região onde o gradiente de temperatura em função da profundidade é máximo. Segundo Sprintall e Tomczak (1992), esta camada situa-se logo abaixo da camada isothermal, logo se assume que o topo da termoclina coincide com a base da camada isothermal.

O método para a determinação da base da camada isothermal (consequentemente determinando a profundidade do topo da termoclina), desenvolvido por Kara *et al.* (2000), está explicado detalhadamente na seção 3.1.7.

A profundidade da termoclina de cada OP foi calculada individualmente para cada perfil. Uma vez obtido o valor para cada perfil, estes foram agrupados em suas respectivas correntes, e então a média para cada corrente foi calculada separadamente (Fig. 4.33 e Fig. 4.34).

A utilização desse método implica, numa prévia, a definição de uma temperatura de referência. Kara *et al.* (2000) utilizam como temperatura de referência a temperatura a 10 m de profundidade, com a finalidade de eliminar qualquer possível tendência de temperatura presente no perfil devido aos efeitos de pele na superfície do oceano.

Em função da resolução vertical dos dados das OPs utilizados nas análises serem de 20 m, a temperatura de referência para o cálculo da termoclina foi escolhida como a temperatura no primeiro nível, ou seja, 1,3 m, eliminando assim qualquer tendência ou alteração na temperatura em função da proximidade com a superfície e da temperatura de pele referida por Kara *et al.* (2000).

Para a aplicação do método nos dados do WOA05, é utilizada como temperatura de referência a temperatura a 10 m de profundidade, em função da disponibilidade dos valores de profundidade neste banco de dados ser de 0 m seguido de 10 m em superfície.

#### **4.3.1 Profundidade da termoclina das Operações Antárticas 21 a 27**

Para cada ano de operação foi calculada a profundidade da termoclina da CB (Fig. 4.33) e da CM (4.34). Com exceção da OP21 (2002) que não possui dados que representem a CB, é possível observar na Figura 4.36 a evolução da profundidade da termoclina da CB entre as OPs 22 a 27.

Durante a OP22 e OP26, para a região da CB (Fig. 4.33), nota-se que a termoclina se encontrava mais rasa, em comparação com as demais OPs. Os valores são bastante similares de 71,5 m e 72,8 m entre as si, respectivamente. Isto se deve ao fato dos perfis obtidos durante as duas operações para esta região, terem sido coletados em uma região de mistura conforme descrito na Seção 4.4. Durante a OP23, houve uma maior flutuação, com a profundidade média marcando 231 m e desvio padrão de aproximadamente 160 m. A OP25 contou com apenas 1 perfil característico de águas da CB, por isso não calculou-se seu desvio padrão (Fig. 4.33). Durante a OP27, a termoclina apresentou-se mais profunda (Fig. 4.33), variando entre 270 m a 310 m de profundidade.

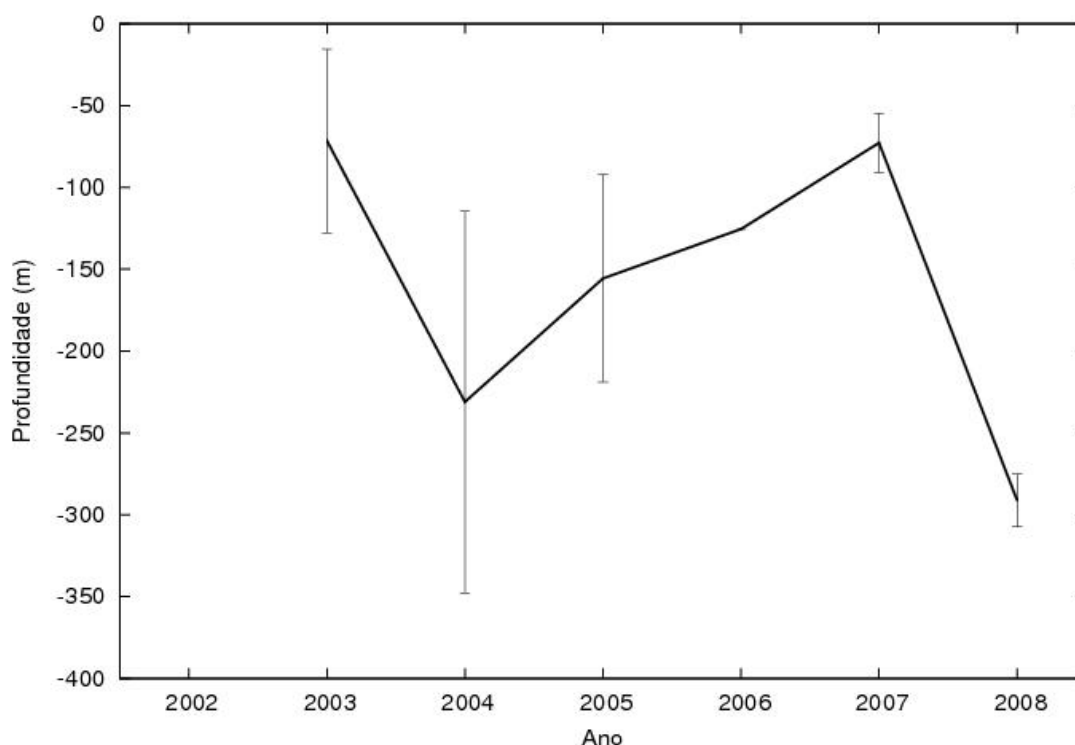


Figura 4.33: Variação média da profundidade da termoclina para a CB durante as OPs 21 a 27. Desvio padrão está indicado pelas barras verticais.

A respeito da profundidade da termoclina na região da CM, os valores se apresentam mais similares, com menos flutuações, não ultrapassando a média de 35 m durante a OP22.

A Figura 4.34 apresenta a profundidade média da termoclina na CM durante as OPs estudadas aqui. De modo geral, a CM possui uma termoclina mais rasa, não ultrapassando os 15 m de profundidade durante as OPs 23, 25, 26 e 27. No restante do período analisado em outras OPs (21, 22 e 24), a termoclina da CM oscilou entre intervalos de profundidades de 17 m a 35 m, aproximadamente. Durante a OP24, a profundidade média da termoclina da CM variou em torno de 25 m. Em geral, o desvio padrão da profundidade da termoclina na CM de cada OP é pequeno, não ultrapassando mais que 35 m na média (OP22).



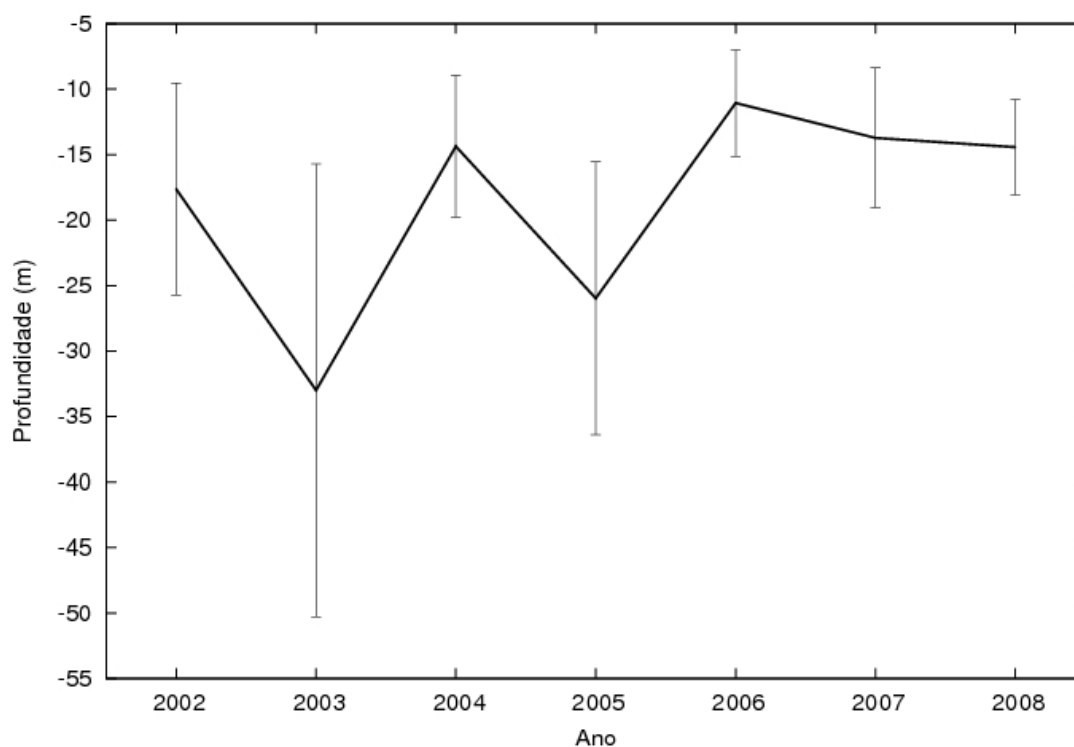


Figura 4.34: Variação média da profundidade da termoclina para a CM durante as OPs 21 a 27. Desvio padrão está indicado pelas barras verticais.

#### 4.3.2 Profundidade climatológica da termoclina com dados do WOA05

Para descrever a profundidade climatológica da termoclina na região da CBM nos períodos estudados são utilizados os dados do WOA05.

Na Figura 4.35 podem ser observados os perfis climatológicos de para os meses de outubro (Fig. 4.35(a)), novembro (Fig. 4.35 (b)), dezembro (Fig. 4.35 (c)) e média trimestral de outubro a dezembro. (Fig. 4.35 (d)). As linhas em destaque representam os perfis escolhidos para representar cada uma das correntes e o ponto intermediário (ponto B, I e M), as quais serão utilizadas para comparação com os dados das OPs. Os demais perfis no

gráfico correspondem a perfis que estações localizadas entre cada um dos pontos (B, I e M).

Ao se compararem os perfis referentes ao mês de outubro (Fig. 4.35(a)) com os perfis do mês de dezembro (Fig. 4.35 (c)), percebe-se claramente o aumento da temperatura em superfície devido ao aquecimento sazonal. Isso faz com que ocorra uma maior inclinação nas curvas de temperatura em função da profundidade. Novamente, o mês de novembro (Fig. 4.35 (b)) se assemelhou com a média trimestral de outubro a dezembro, por estar em situação intermediária nos meses analisados.

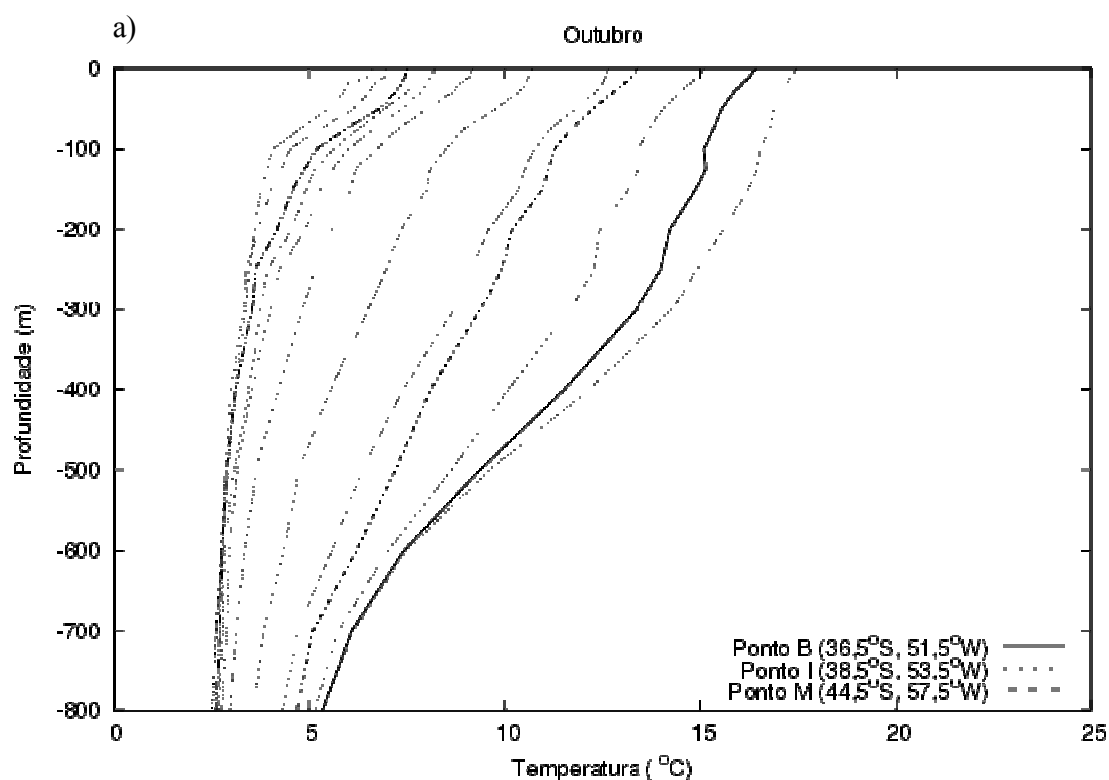


Figura 4.35: Perfis de temperatura referentes à média história de temperatura na região da CBM.

(cont.)

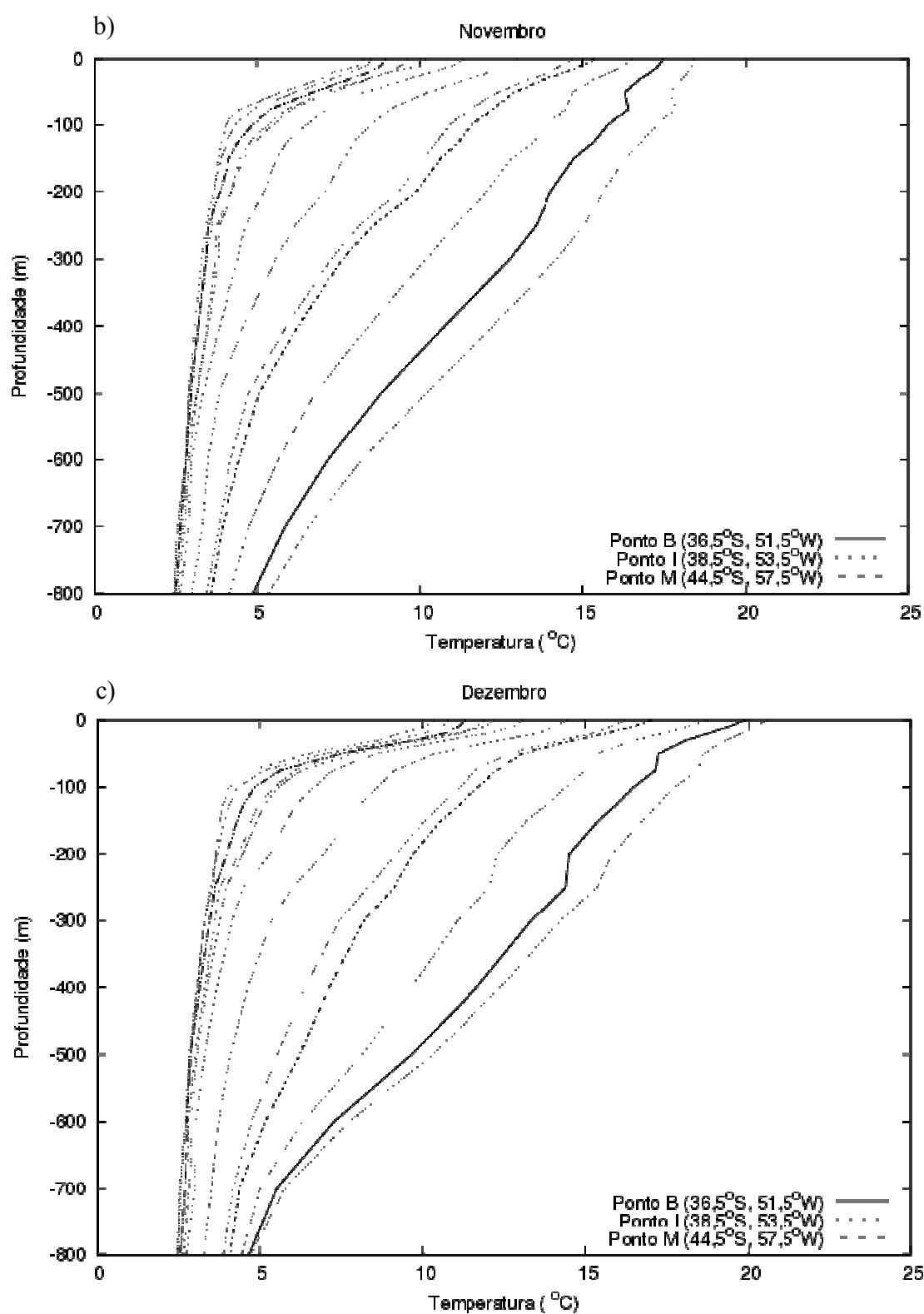


Figura 4.35: Perfis de temperatura referentes a média história de temperatura na região da CBM. (cont.)

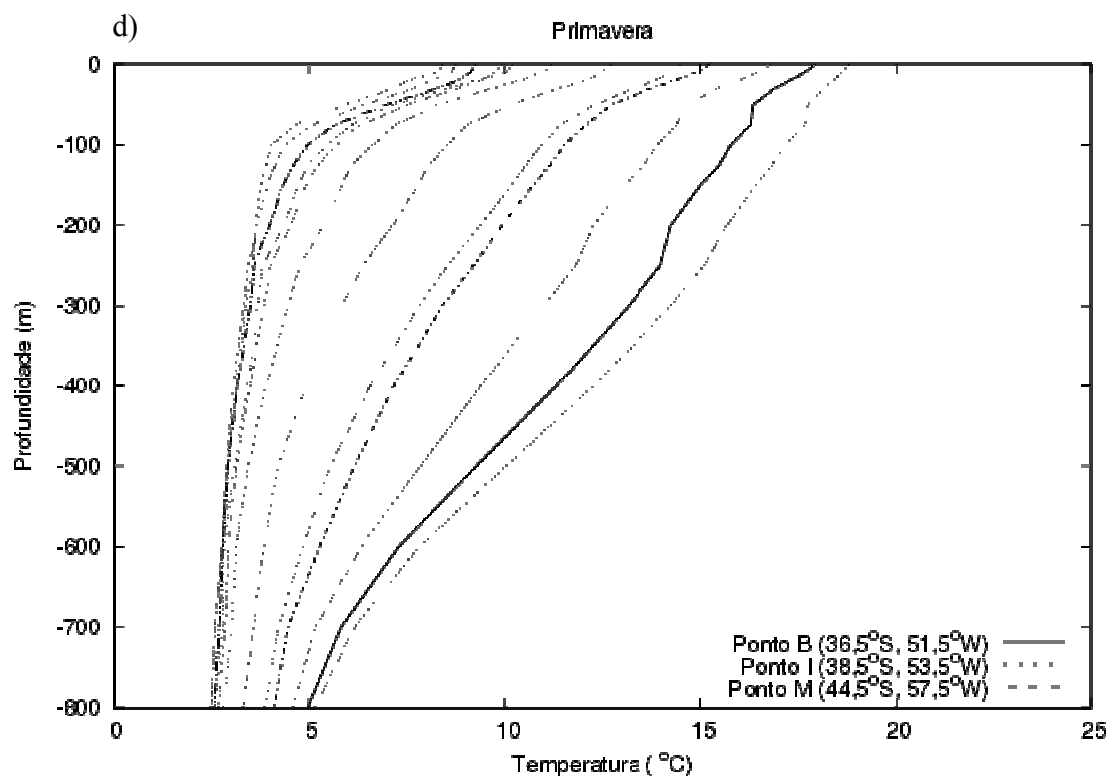


Figura 4.35: Perfis de temperatura referentes a média histórica de temperatura na região da CBM. (final)

A Figura 4.35 (a – d) mostra claramente que a medida que os perfis estão mais a sul, a parte superior deste tem uma forma de “S”, na região de maior gradiente de temperatura (termoclina). Ao se analisar a média de temperatura entre os meses de out. a dez. é possível notar que a temperatura superficial da água na CM aumenta, e assim aumenta o gradiente vertical de temperatura nesses pontos.

A forma dos três primeiros perfis da esquerda de cada painel, presentes na Figura 4.35 (a – d) tem um formato bastante similar ao dos perfis extraídos da CB durante as OPs, sendo possível observar em algumas regiões destes perfis a presença de uma camada isotermal situada em maiores profundidades, como por exemplo nos perfis referentes ao ponto 36,5°S

e 51,5°W, nos meses de outubro e dezembro (Fig. 4.35 (a) e (d)). As profundidades da termoclina de cada perfil, assim como a sua posição, estão presentes na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Profundidade da termoclina para cada perfil dos pontos B, I e M. Os pontos em vermelho correspondem ao ponto B, I e M do perfil de temperatura da Figura 4.35 (a –d).

WOA05					
Coordenadas		Profundidade da Termoclina (m)			
Latitude (°S)	Longitude (°W)	Outubro	Novembro	Dezembro	Out-Dez
35,5	50,5	170,5	96,6	92,0	98,4
36,5	51,5	168,2	95,1	273,9	99,4
37,5	52,5	166,1	21,9	16,0	20,1
38,5	53,5	30,4	19,5	15,9	19,4
39,5	53,5	39,2	21,5	18,3	22,3
40,5	54,5	37,8	20,0	18	21,4
41,5	55,5	31,7	17,1	16,1	18,4
42,5	56,5	22,1	15,7	15,1	16,4
43,5	56,5	39,2	21,2	18,7	22,1
44,5	57,5	41,9	21,9	20,4	23,3
45,5	58,5	34,4	19,0	18,9	20,5
46,5	59,5	17,6	15,9	16,1	16,5

A profundidade da termoclina é uma característica de fácil entendimento para a distinção entre a CB e a CM. Nos perfis indicativos da região da CM, a termoclina é bem rasa, enquanto que na região da CB, esta se apresenta em maiores profundidades. Esta característica é obviamente válida tanto para os dados provenientes das OPs quanto para os dados do WOA05.

#### 4.4 Comparações dos dados das Operações Antárticas com os dados do WOA05

Nesta seção são realizadas as comparações entre os dados coletados durante as OPs 21 a 27 com os dados do WOA05, que representam a média climatológica na região da CBM.

Para a comparação dos perfis de temperatura vertical, foi feita a diferença entre a temperatura com dados do WOA05, de dois pontos escolhidos, que doravante serão referidos como ponto B e ponto M, baseados na localização dos pontos de coleta das OPs e que representasse cada uma das distintas correntes, e as temperaturas médias para cada ano desse mesmo projeto.

A comparação entre os dados das OPs e os dados do WOA05 é feita até 700 m de profundidade devido a profundidade limite da sonda ser 760 m e os níveis disponíveis no WOA05 a partir de 300 m serem a cada 100 m.

#### 4.4.1 Comparação entre os perfis médios de XBT *in situ* e do WOA05 na CB

Em síntese, a tabela 4.2 apresenta a temperatura média em superfície (profundidade até aproximadamente 20 m) obtida com os dados das OPs e a tabela 4.3 apresenta o mesmo conteúdo para os dados do WOA05.

Tabela 4.2: Apresentação esquemática dos valores de temperatura média obtidos com os dados das OPs para as águas da CB e da CM, com seus respectivos desvios padrão. Em “Obs.” encontra-se a profundidade em que foi encontrado o maior valor de desvio padrão, e este valor propriamente dito.

Operação Antártica			
Corrente	T (°C)	Desv. Pad (°C)	Obs.
CB	18,10	0,62	20 m, 1,43 °C
CM	8,16	0,42	40 m, 0,72 °C

Tabela 4.3: Apresentação esquemática dos valores de temperatura média obtidos com os dados do WOA05 para os meses de outubro, novembro, dezembro e média trimestral entre out. a dez. para o ponto B e para o ponto M com seus respectivos desvios padrão. Em “Obs.” encontra-se a profundidade em que foi encontrado o maior valor de desvio padrão, e este valor propriamente dito.

WOA05				
Período	Estação	T (°C)	Desv. Pad (°C)	Obs.
Out.	B	16,30	1,00	200 m; 4,64 °C
	M	9,30	1,86	125 m; 0,56 °C
Nov.	B	17,30	2,36	30 m; 2,95 °C
	M	8,80	0,90	50 m; 1,04 °C
Dez.	B	19,40	s/i	s/i
	M	11,10	0,78	50 m, 1,68 °C
	B	17,70	2,44	50 m, 3,98 °C
Média	M	9,10	2,45	10 m, 1,91 °C

Observando as duas tabelas 4.2 e 4.3, é possível notar semelhança entre os valores dos dados das duas correntes (CB e CM) das OPs com o mês de novembro da média climatológica do WOA05. Tanto os valores de temperatura média foram bem próximos, quanto a profundidade em que se situou o maior desvio padrão para cada perfil também foi bastante similar. Mais uma vez, a diferença entre esses dois bancos de dados pode estar relacionada com a diferença na resolução vertical entre eles, ou também pela resolução espacial que o WOA05 utiliza para calcular as médias em um determinado ponto de coordenada.

A Figura 4.36 (a-d) apresenta as comparações entre os perfis médios de temperatura com os dados obtidos das OPs com os dados do WOA05. O mês de novembro (Fig. 4.36 (b)) foi o que mais se assemelhou, com base em uma análise visual da curva dos perfis. A quantificação da diferença entre os perfis está apresentado nas figuras 4.37 (a-d).

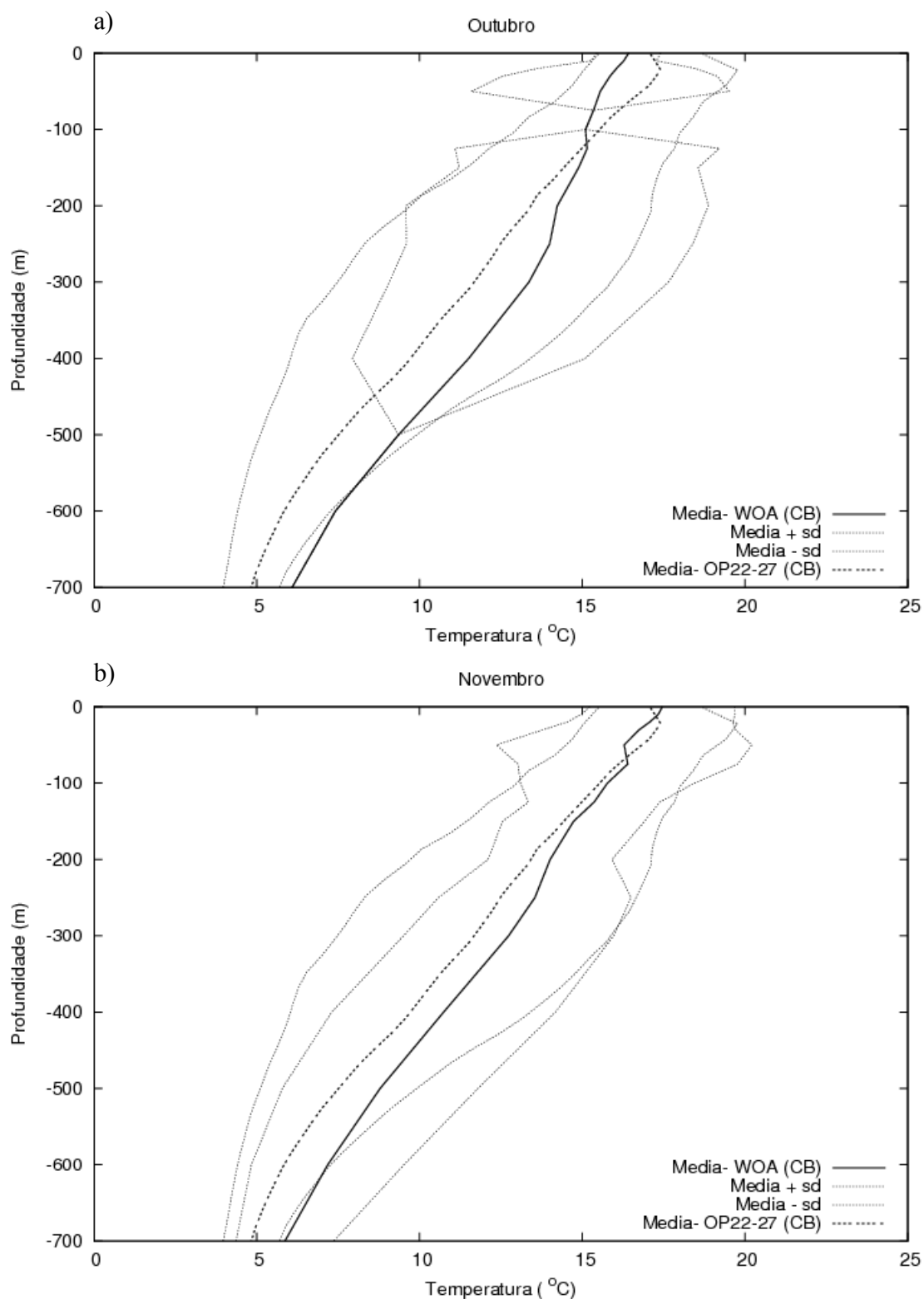


Figura 4.36: Comparação dos perfis médios de temperatura da CB entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)



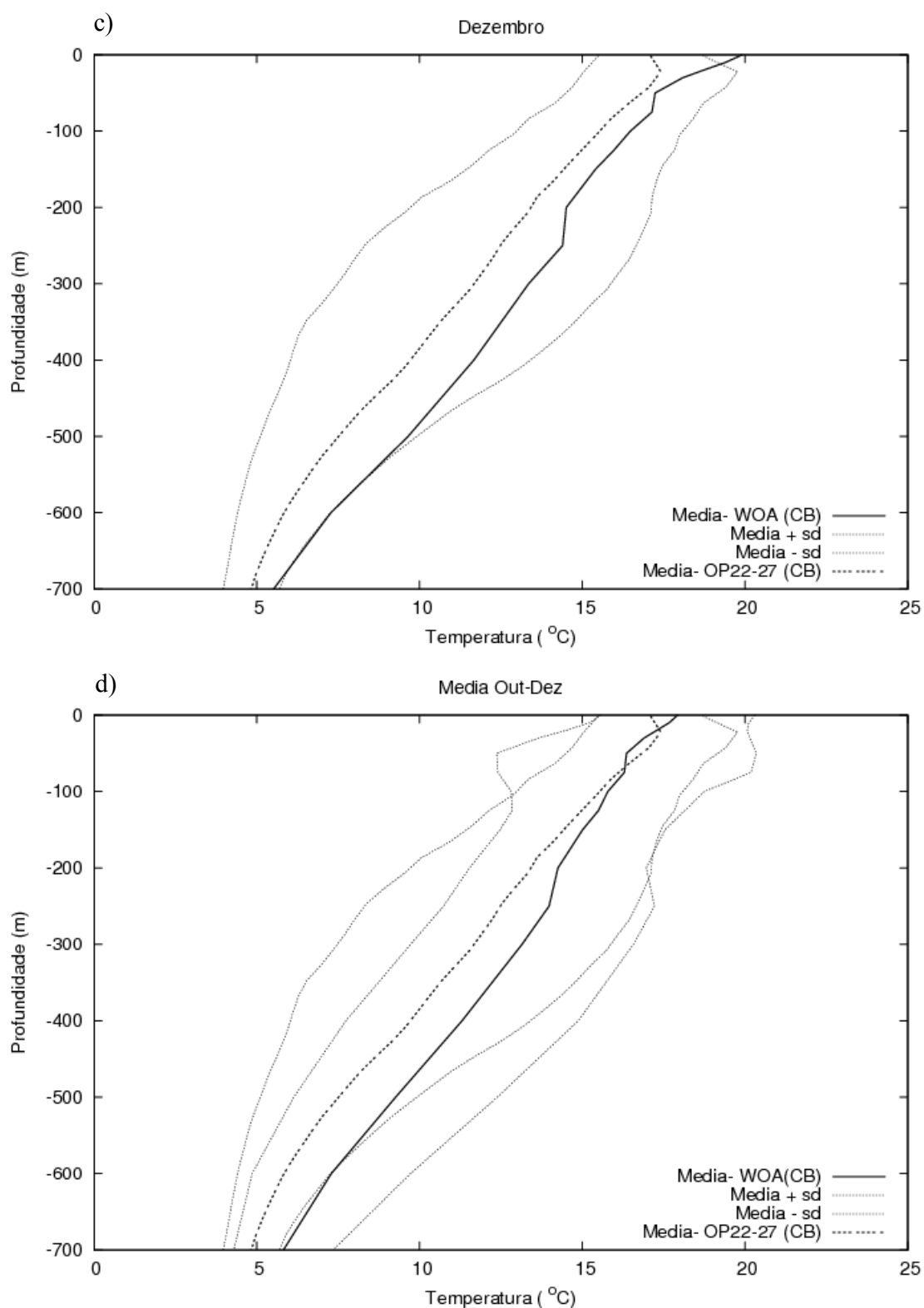


Figura 4.36: Comparação dos perfis médios de temperatura da CB entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (final)

Com relação aos perfis da região da CB, as médias de temperatura das OP22 e OP26 apresentaram as maiores diferenças em relação a média histórica do WOA05. Em superfície, (até aproximadamente 50 m) durante o mês de outubro (Fig. 4.37 (a)), esses anos apresentaram valores de temperatura em média de 1 °C menor que a média climatológica do WOA05. Durante o mês de novembro, ainda em superfície, esse valor oscilou em torno de 2 °C abaixo da média climatológica. Em dezembro essa diferença variou desde aproximadamente 3 °C até 4 °C abaixo da média. Ao se comparar com a média trimestral de outubro a dezembro, esses anos estiveram em média 2 °C a 3 °C abaixo do valor encontrado nos dados do WOA05.

Em profundidade, quando comparados os dados da OP22 e da OP26, nota-se que foi onde ocorreram as maiores diferenças. A variação de temperatura, em relação a média climatológica chegou a ficar até próximo de 8 °C abaixo da média em todo o período analisado (Fig. 4.37 (a – d)), confirmando que esta região é dominada por alta variabilidade. Essa variação ocorreu desde os 100 m, aproximadamente, com um pico em torno de 300 m e retornando ao valor de 2 °C de diferença em relação a média climatológica aos 700 m. É importante ressaltar que apesar de se tratarem de anos diferentes, os perfis se comportaram de uma maneira muito similar. A diferença entre as médias ficou mais evidente em torno dos 300 m, região onde a ACAS, ocorrendo abaixo da CB, está em contato com águas de origem subantártica carregadas pela CM.

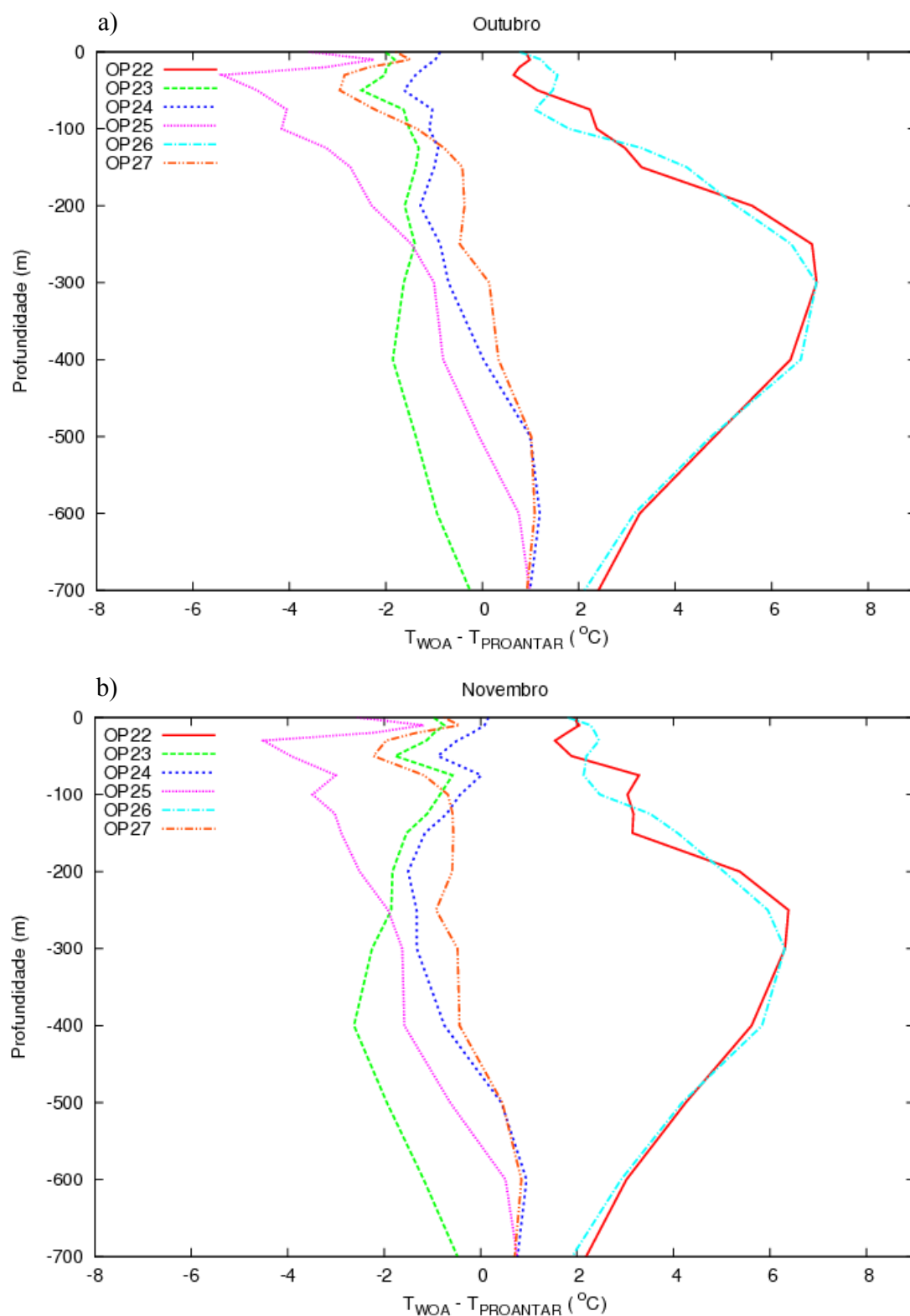


Figura 4.37: Diferença entre os perfis médios de temperatura da CB com os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (cont.)

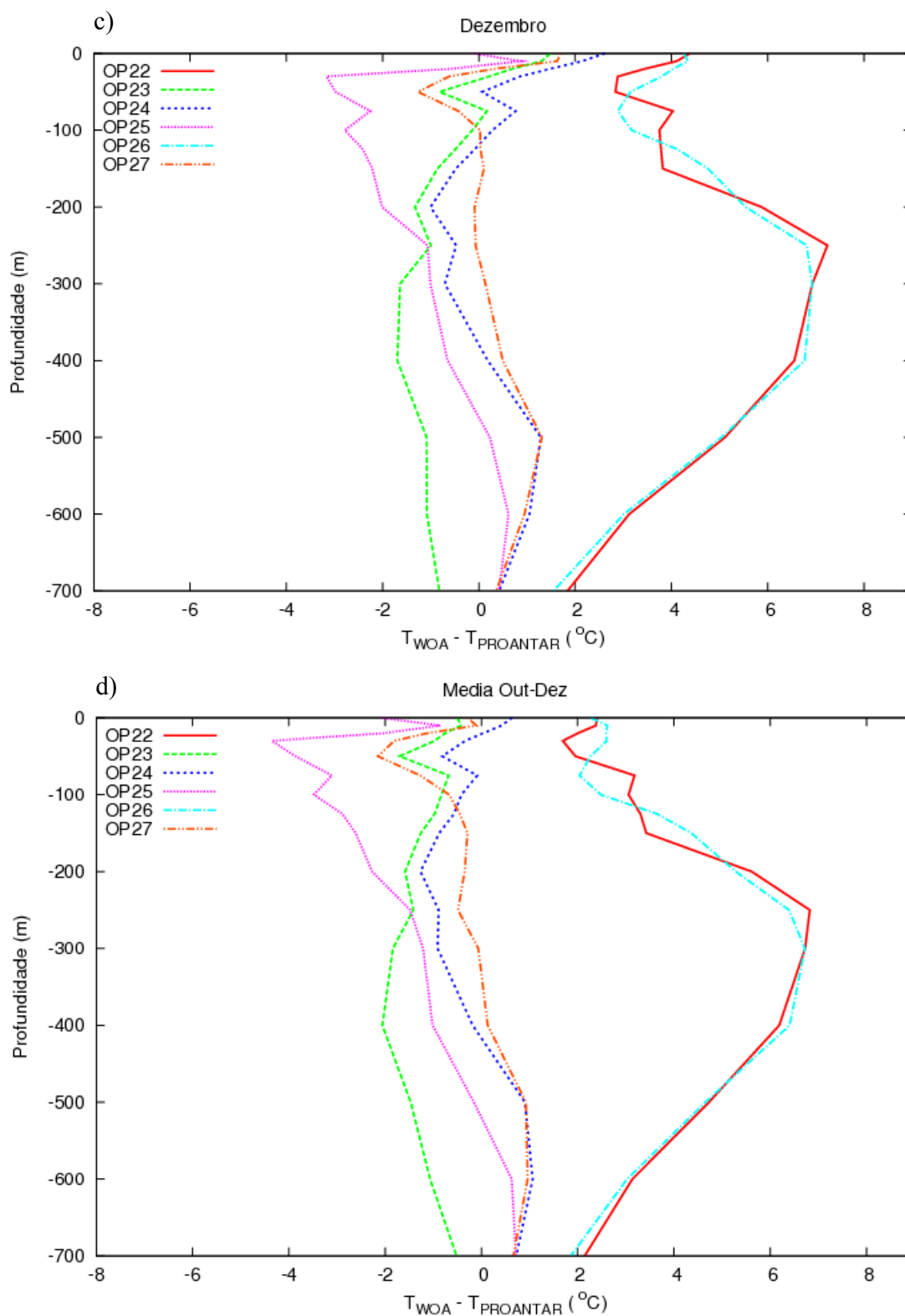


Figura 4.37: Diferença entre os perfis médios de temperatura da CB com os dados das OPs e do WOA05 no ponto B, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (Final)

A Figura 4.37 mostra claramente o que já foi discutido na Seção 4.3. Devido aos pontos terem sido coletados em uma região de mistura durante as OPs 22 e 26, os seus perfis apresentam características mista entre as duas correntes, com temperaturas mais altas em superfície, profundidade da termoclina mais rasa e a camada profunda mais fria em comparação aos demais perfis da CB.

Em relação aos demais anos, todos apresentaram um comportamento similar, com maiores variações ocorrendo nas camadas mais superficiais, até aproximadamente os 200 m.

Para o mês de outubro (Fig. 4.37 (a)) as OPs 23, 24 e 27 apresentaram uma diferença de aproximadamente 1 °C a até 3 °C acima da média climatológica do WOA05 nos primeiros 100 m de profundidade. A OP25 apresentou a maior variação de temperatura, chegando esta muito próxima de 6 °C acima da média, também nessa profundidade. Nas camadas mais profundas, abaixo dos 100 m até os 700 m os perfis se mantêm muito próximos a media climatológica, com variações ocorrendo em torno de 1 °C abaixo e a 2 °C acima da média climatológica.

Em relação ao mês de novembro, o perfil médio das OPs não apresentou grandes variações em relação ao WOA05 ao se comparar com o mês anterior (Fig. 4.37 (b)). Em superfície, até os 200 m, enquanto que para o mês de outubro os perfis médios das OPs 23, 24 e 27 eram em torno de 3 °C acima da média climatológica, em novembro as temperaturas variaram em torno de 2 °C. A OP25 também se mostrou o mais distante da média aos 100 m para este mês, entretanto a diferença foi menor, alcançando pouco mais de 4 °C acima da média climatológica do WOA05.

Abaixo dos 100 m, esse ano se mostrou bem similar ao perfil climatológico do WOA05 em um espaço da coluna d'água desde os 100 m até os 400 m de profundidade, onde se desviou menos de 1 °C da média climatológica. Nas camadas mais profundas, de 300 m a 700 m, os perfis médios dos anos 2004, 2005 e 2008 se mantiveram quase constantes, com variações de até 2 °C para mais (presença de um leve pico a 400 m durante a op26) e 1 °C menor que o perfil médio do WOA05 (Fig. 4.37 (b)).

Durante o mês de dezembro, a diferença entre os perfis médios das OPs durante as OPs 23, 24 e 27, em superfície (acima dos 100 m), apresentaram valores de temperatura de até 2 °C abaixo da média climatológica do WOA05. Pouco abaixo dessa profundidade, porém ainda dentro dos 100 m, esses anos apresentaram um valor de 1 °C de temperatura próximo a 50 m de profundidade acima da média climatológica (Fig. 4.37 (c)). As maiores diferenças entre as médias se concentraram mais nesse intervalo de temperatura, e esse padrão se estende até maiores profundidades.

Em geral, pode-se dizer que as maiores variações de temperatura dos dados das OPs em relação a média climatológica para o mês de dezembro ocorreram em uma faixa de profundidade desde a superfície até aproximadamente 300 m, variando até aproximadamente 3 °C acima da média do WOA05. Abaixo desta profundidade os valores se mantiveram quase homogêneos em toda a coluna d'água, com perfis médios variando desde 1 °C acima da média até quase 2 °C abaixo.

Ao se analisar a média entre os meses de out. a dez. (Fig. 4.37 (d)), nota-se que as diferenças de temperatura entre os perfis médios das OPs em relação a média climatológica do WOA05 são bastante similares as do mês de novembro (Fig. 4.37 (b)).

A escolha em se fazer uma comparação com os meses de outubro, novembro, dezembro e com a média entre os meses de out. a dez. teve o objetivo de verificar se pode haver ou não variações de temperatura média entre os dados das OPs e do WOA05 de um mês para o outro. Caso positivo, de quanto seria essa variação? Os perfis médios mostram que as maiores variações ocorreram em superfície, onde as águas estão mais sujeitas as variações atmosféricas. A discussão acima está ilustrada na Figura 4.38, que mostra a temperatura média das OPs 22 a 27 em relação aos perfis médios dos dados do WOA05 no ponto B.

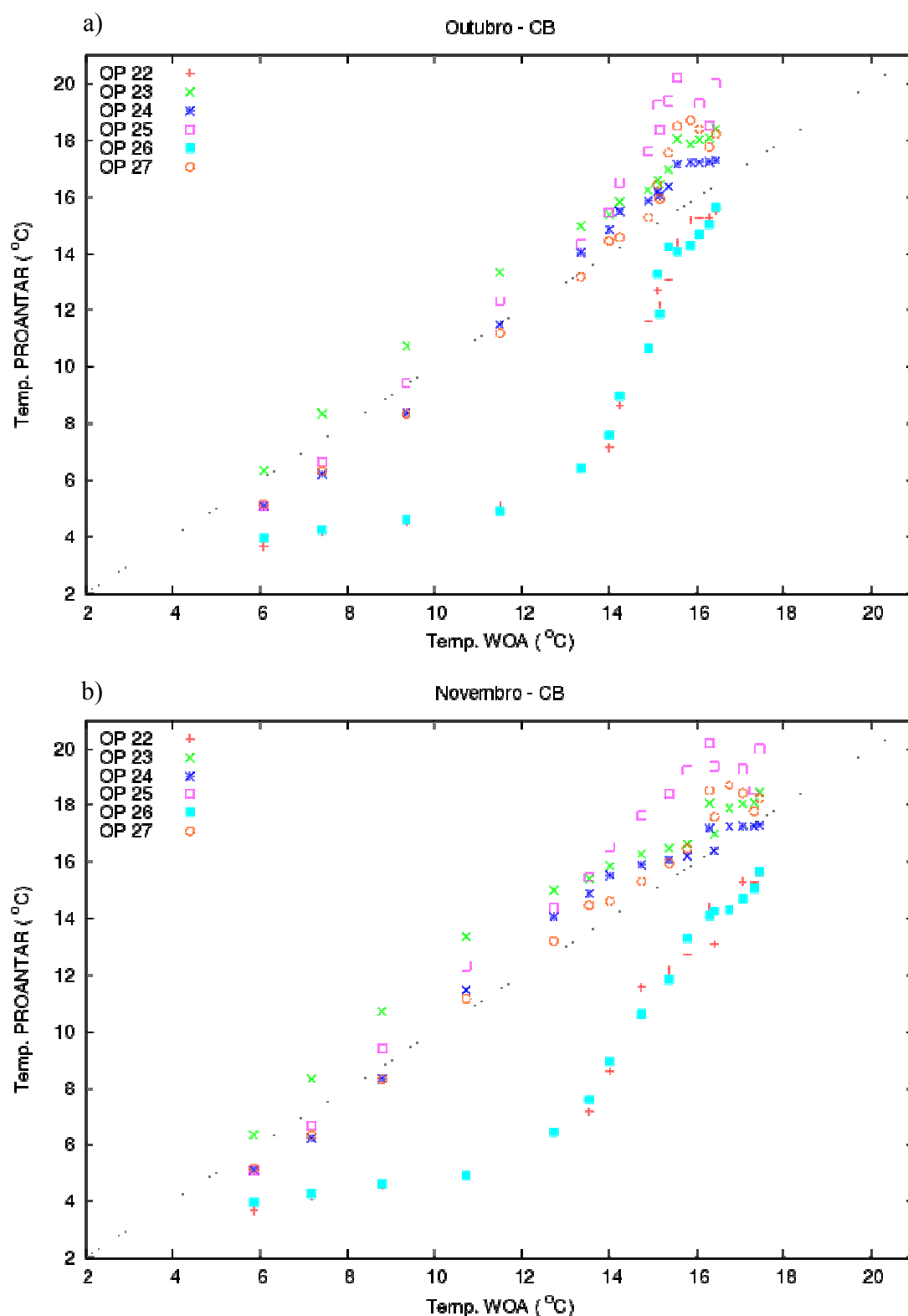


Figura 4.38: Temperatura média com respeito a profundidade das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto B, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (cont.)

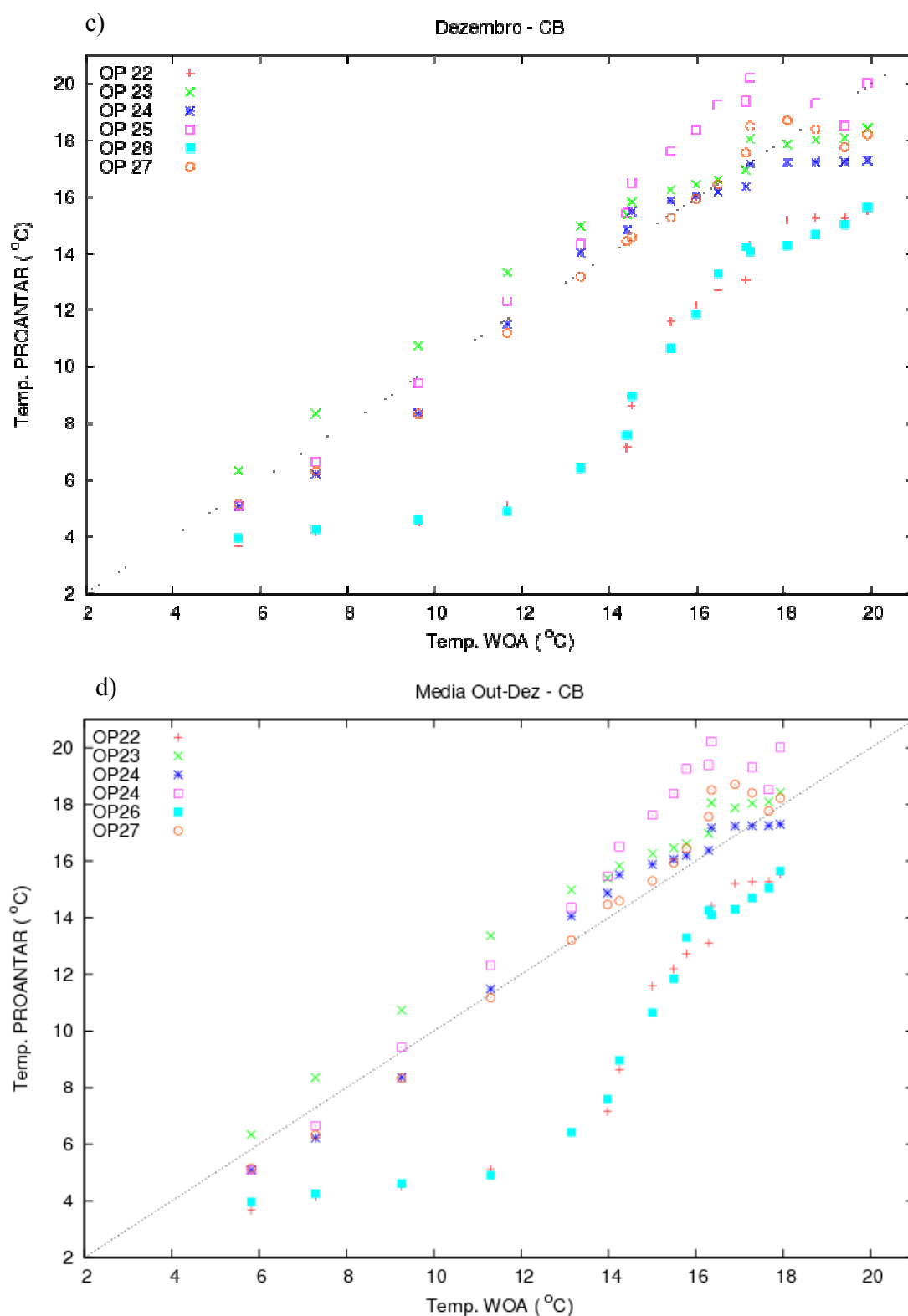


Figura 4.38: Temperatura média com respeito a profundidade das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto B, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (Final)



Caso as temperaturas médias da CB das OP22 – OP27 nas profundidades analisadas fossem idênticas a média climatológica do ponto B, todos os pontos presentes na figura 4.38 estariam sobre a linha tracejada. Nota-se claramente que a temperatura média obtida pelos XBTs nas OPs 22 e 26, é inferior a média do ponto de comparação. A razão para tal diferença já foi discutida nas seções anteriores e previamente nesta seção. Não sendo o ponto B um ponto apropriado para a comparação dos perfis de temperatura média desses anos, foi escolhido então um novo ponto intermediário (ponto I) a fim de representar a região que esses perfis descrevem (Fig. 4.38 (a – d)).

A Figura 4.39 mostra a comparação entre as médias de temperatura das OPs 22 e 26 e a média climatológica para o ponto I. Novamente, assim como para o ponto B, o mês de novembro foi o que mais apresentou similaridade entre os dados das OPs com os dados do WOA05 para o ponto I. A diferença entre os perfis médios

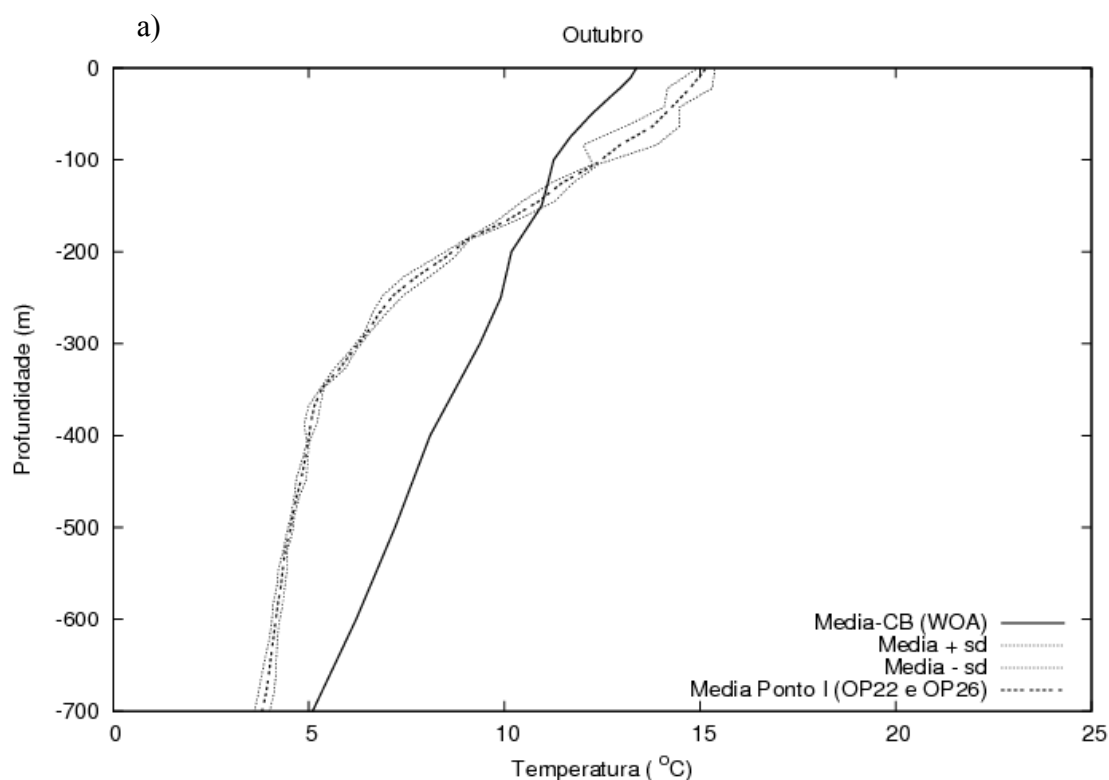


Figura 4.39: Comparação dos perfis médios de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto I, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

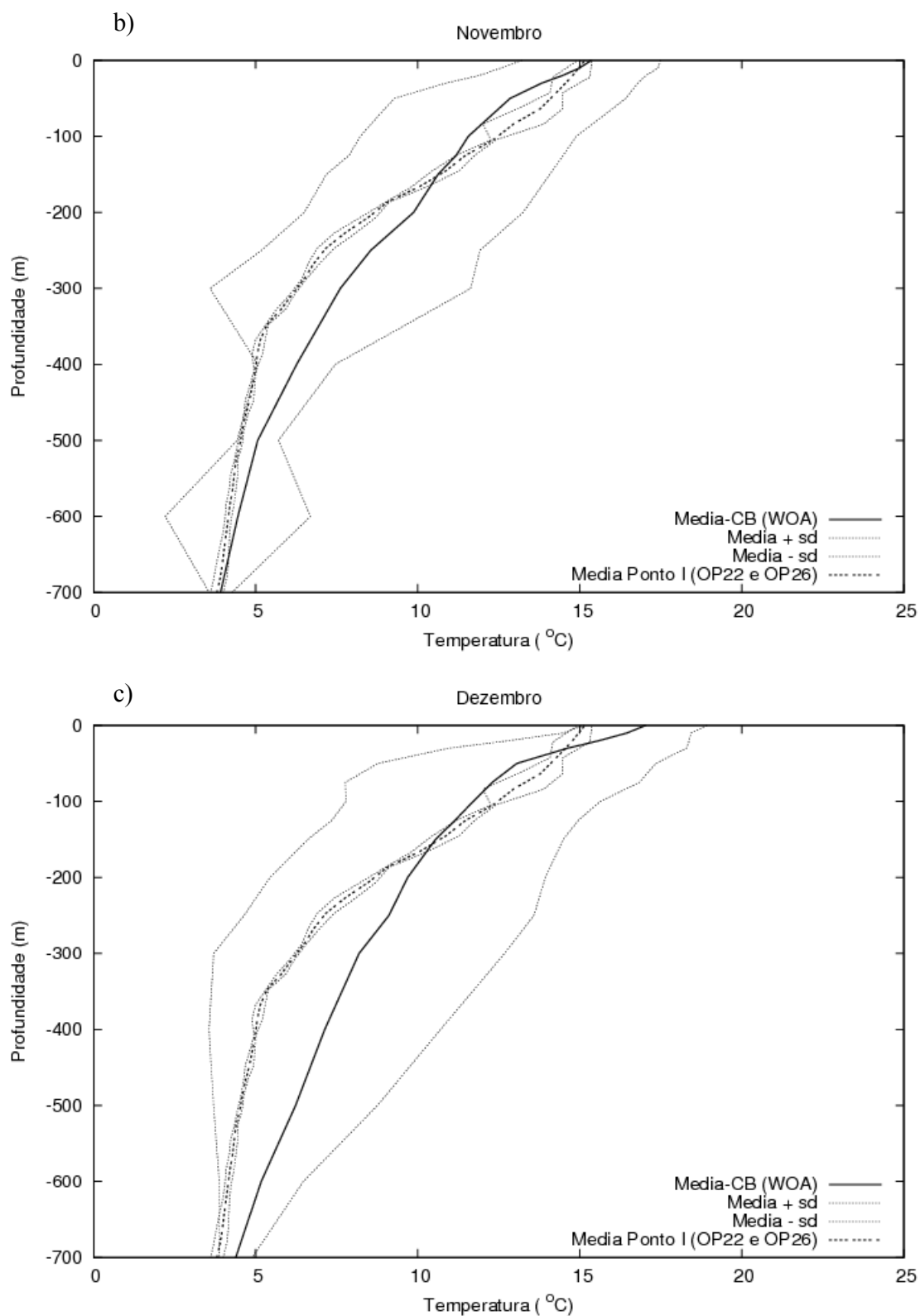


Figura 4.39: Comparação dos perfis médios de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto I, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

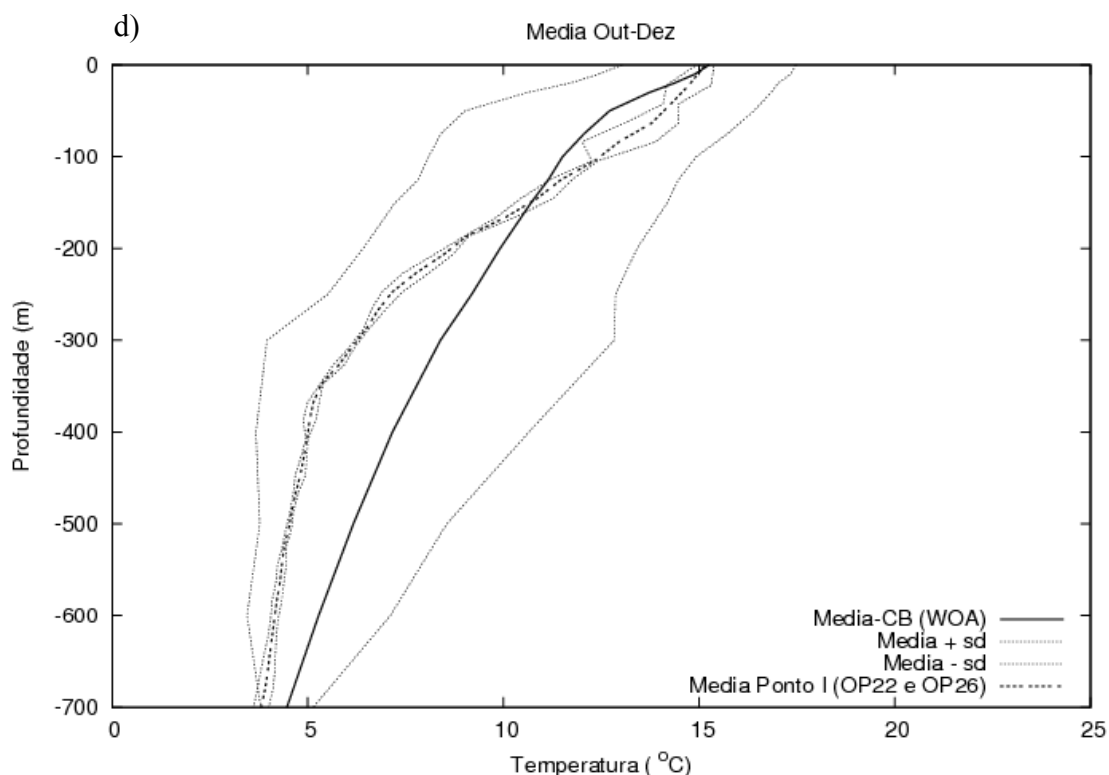


Figura 4.39: Comparação dos perfis médios de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto I, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (Final)

Para o mês de outubro (Fig. 4.40 (a)) é notada a maior variação de temperatura com a profundidade, sendo esta negativa acima dos 200 m e podendo chegar até 2 °C na superfície, em ambos os anos, e tornando-se positiva para profundidades superiores a 200 m, flutuando entre 2 °C e 3°C a partir dos 250 m.

No mês de novembro (Fig. 4.40 (b)) o caráter de variação vertical é semelhante, porém as diferenças de temperatura são menores em toda a extensão vertical do perfil, nunca ultrapassando os 2 °C de diferença, sendo esta praticamente nula na superfície.

Tal comparação quando realizada para dezembro apresenta uma diferença de temperatura positiva (Fig. 4.40 (c)), em torno de 1,5 °C na superfície. Essa diferença passa a ser

negativa a partir dos 50 m de profundidade, chegando até - 2 °C de diferença em torno dos 100 m de profundidade, para a OP25. A partir de 250 m de profundidade a diferença de temperatura passa a ser positiva novamente se mantendo praticamente constante em maiores profundidades, para os dois anos. Interessantemente, a diferença de temperatura entre as OPs 22 e 26 e a média de toda estação (Fig. 4.40 (d)) é bastante similar a diferença de temperatura para o mês de novembro (Fig. 4.40 (b)). Acima dos 250 m de profundidade e para o restante do perfil esta se torna muito similar a diferença de temperatura obtida para o mês de dezembro (Fig. 4.40 (c)).

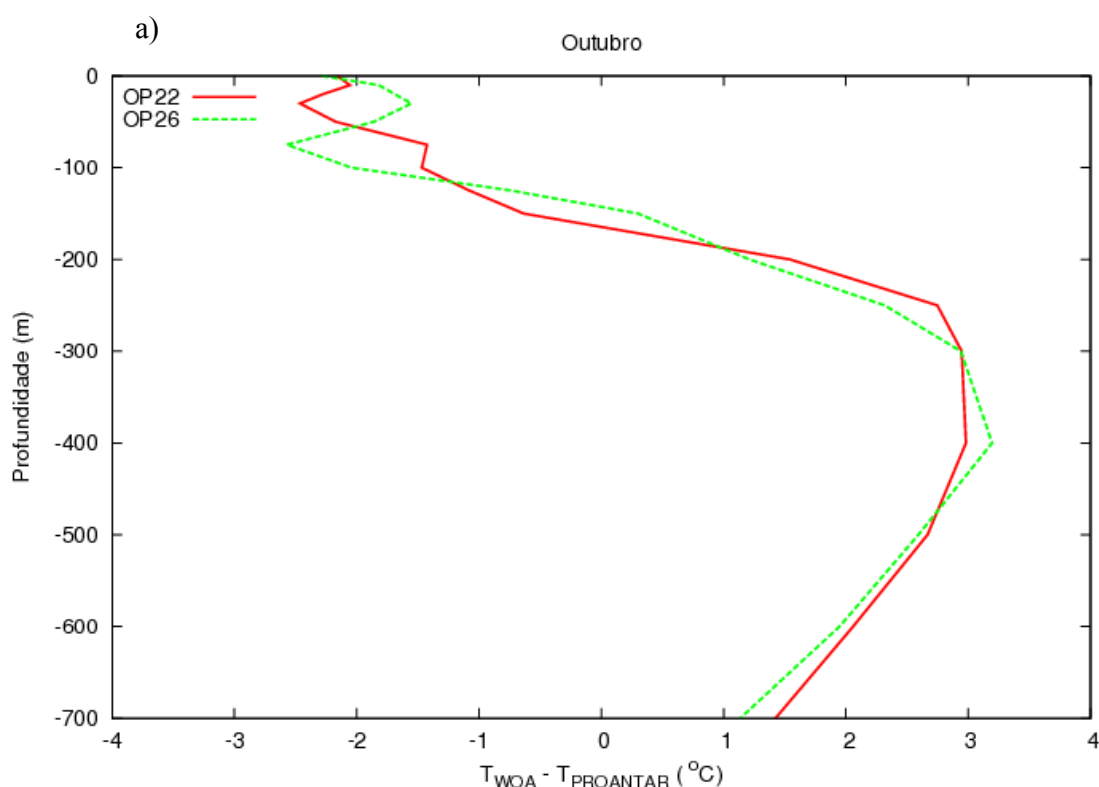


Figura 4.40: Diferença entre as médias de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e o ponto I com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.

(cont.)

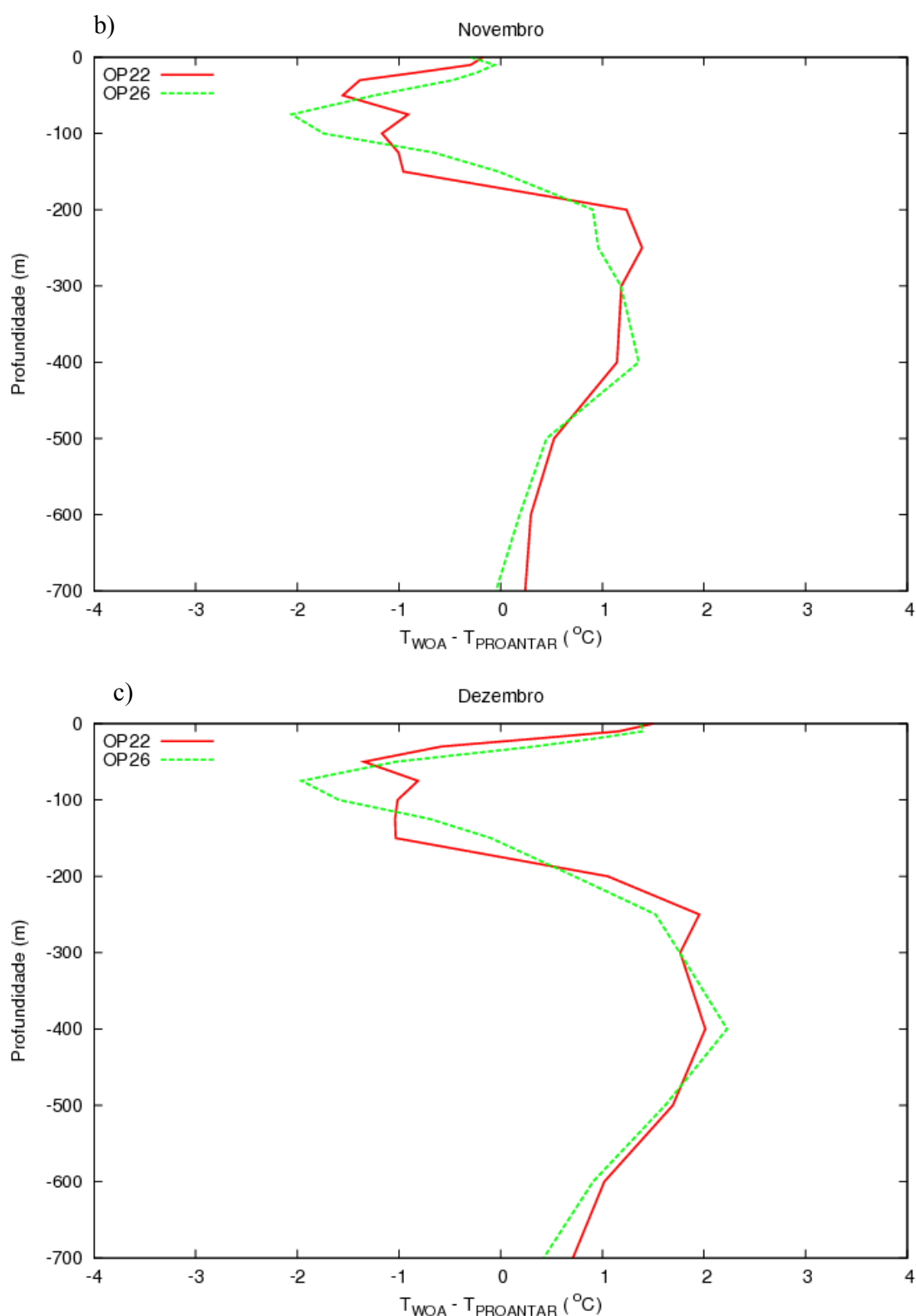


Figura 4.40: Diferença entre as médias de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e o ponto I com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.

(cont.)

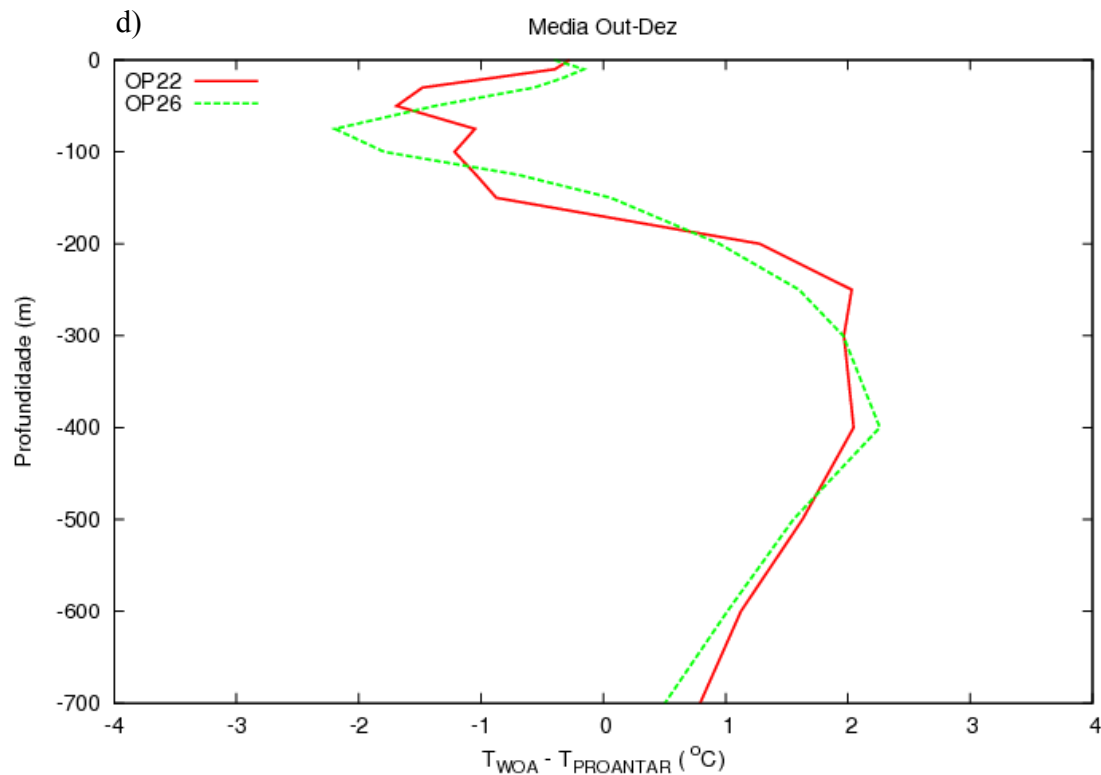


Figura 4.40: Diferença entre as médias de temperatura dos perfis intermediários entre os dados das OPs e o ponto I com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro.

(Final)

A diferença entre as temperaturas dos perfis médios das OP22 e 26 e da média climatológica para a região de mistura entre a CB e a CM extraída do WOA05 no ponto I pode ser melhor visualizada na Figura 4.40.

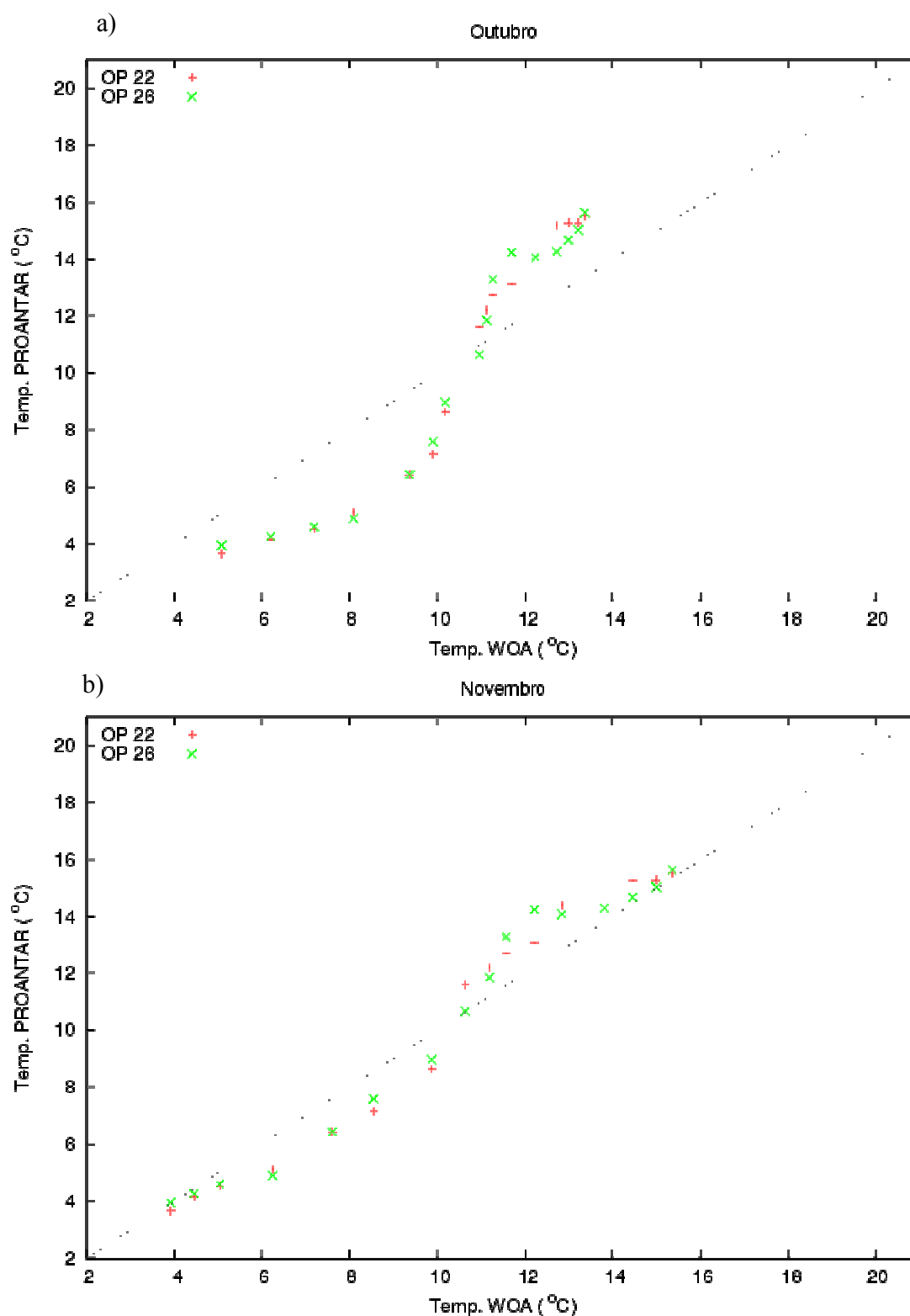


Figura 4.41: Temperatura média das OP22 e 26 com respeito a profundidade versus a temperatura média climatológica para o ponto I, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

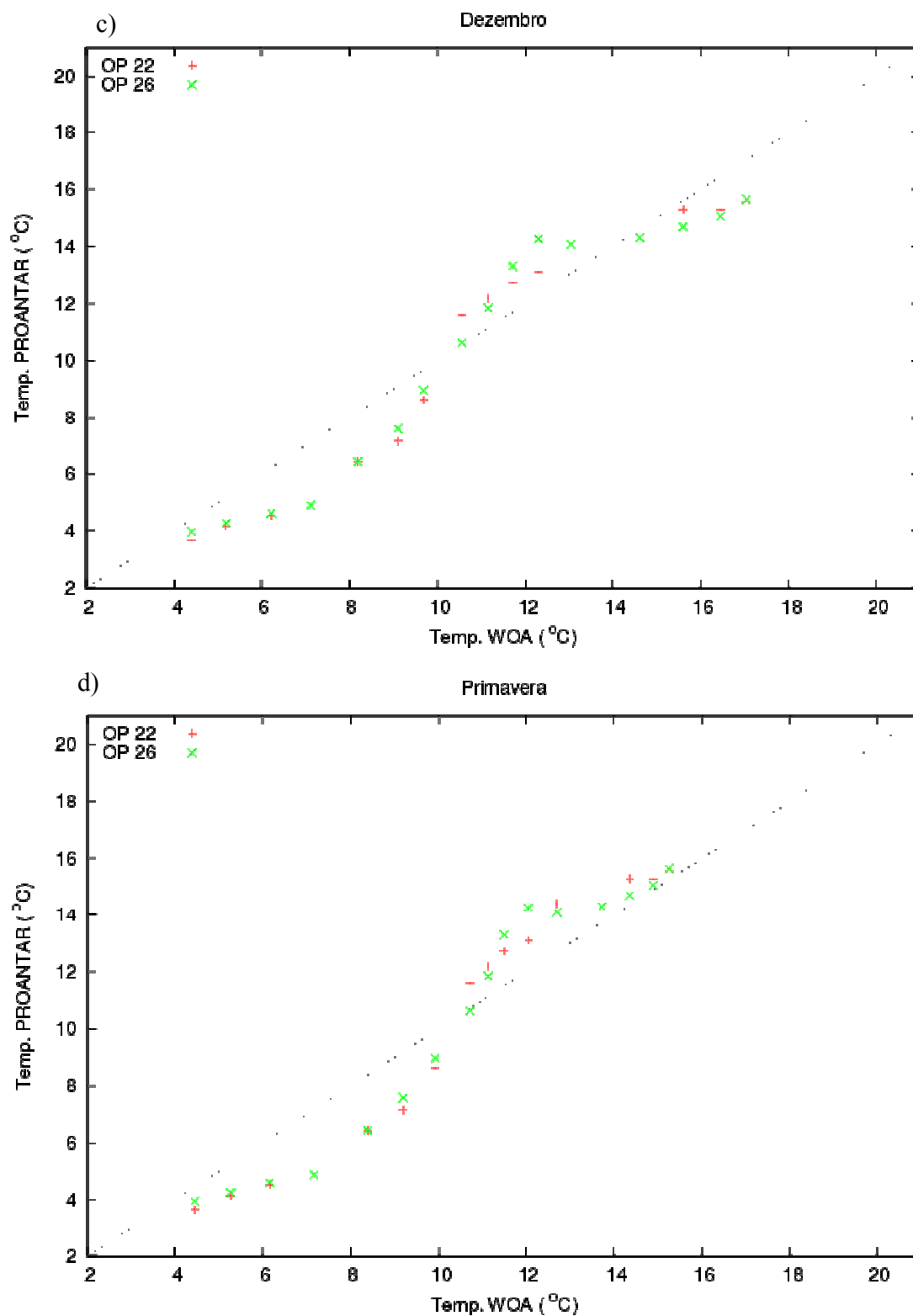


Figura 4.41: Temperatura média das OP22 e 26 com respeito a profundidade versus a temperatura média climatológica para o ponto I, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (Final)



A comparação dos perfis médios de temperatura da CB na região da CBM, obtida através das operações antárticas, com os perfis provenientes do WOA05, que representam a média climatológica de temperatura para a região em estudo, mostra que o período em que os dados mais se assemelham a média climatológica é o mês de novembro. Isto pode se dever ao fato das operações terem sido realizadas, geralmente, no final do mês de outubro e no começo de novembro. Esta característica também faz com que os perfis médios obtidos durante as OPs 22 a 27 sejam semelhantes a média trimestral de outubro a dezembro obtida com os dados do WOA05. Geralmente, a média entre os meses de outubro a dezembro é muito semelhante a média climatológica do mês intermediário (novembro).

#### **4.4.2 Comparação entre os perfis médios de XBT e WOA05 na CM**

A comparação dos perfis médios de temperatura obtidos *in situ* com XBT na CM com aqueles do WOA05 mostram alta similaridade durante o mês de novembro (Fig. 4.42(a-d)).

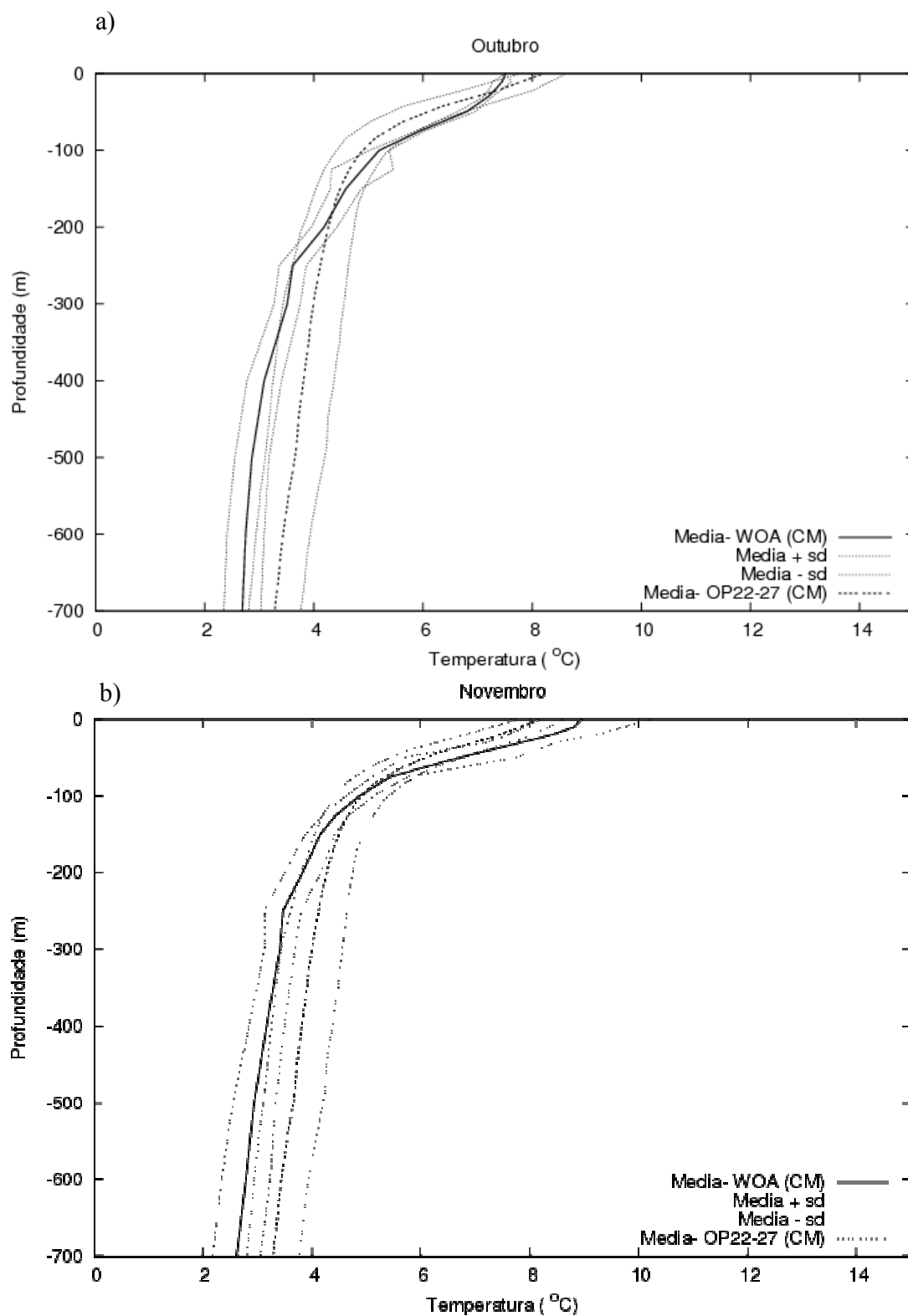


Figura 4.42: Comparação dos perfis médios de temperatura da CM entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto M, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

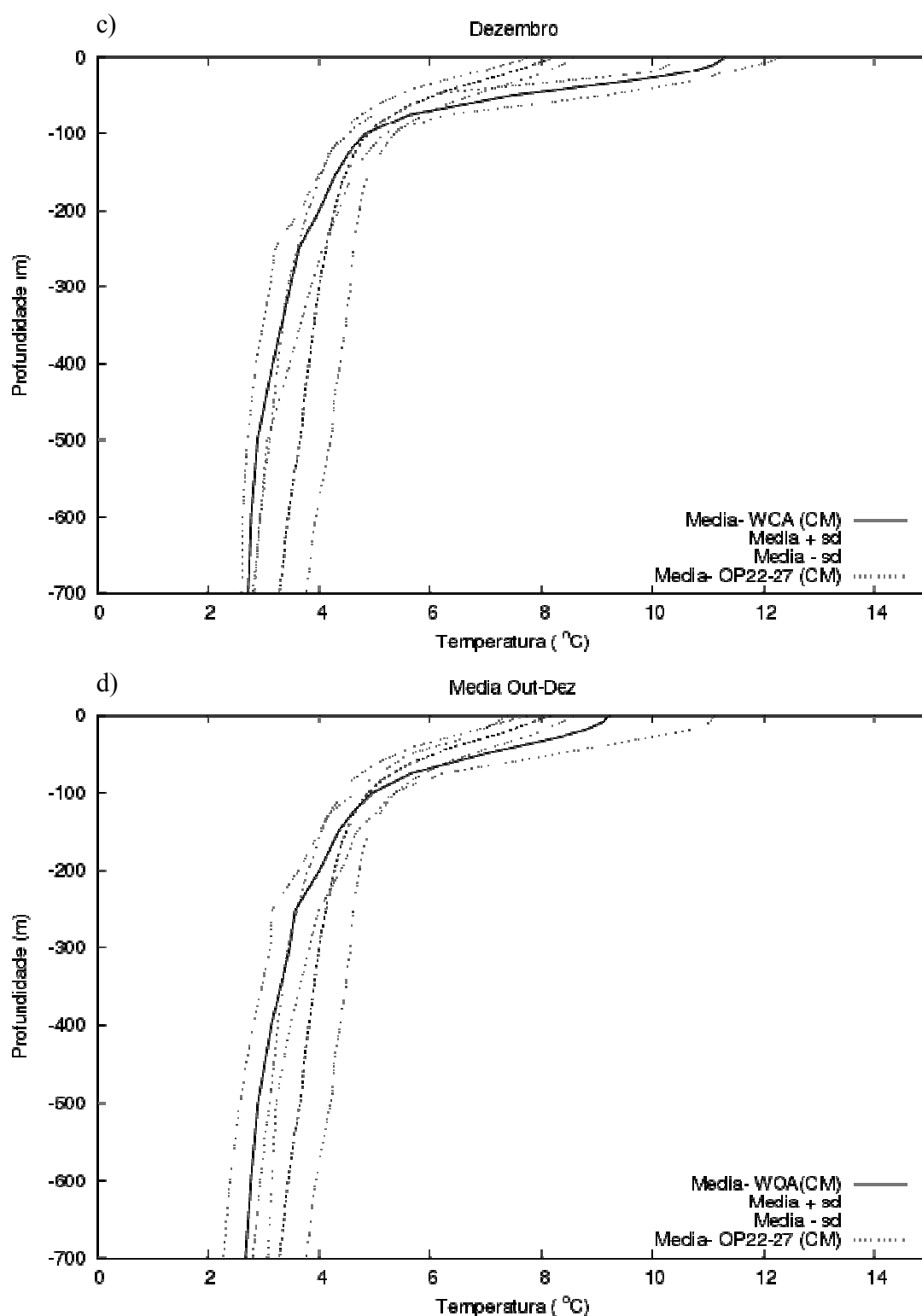


Figura 4.42: Comparação dos perfis médios de temperatura da CM entre os dados das OPs e do WOA05 no ponto M, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (Final)

Ao se comparar o perfil médio do mês de outubro (Fig. 4.43 (a)) nota-se que as maiores variações também ocorreram em superfície, chegando a 2 °C acima da média climatológica para todos os anos estudados aqui. Nos 50 m, houve em geral, uma inversão no perfil da diferença de temperatura para todos os anos, passando a valores de até 1 °C abaixo da média. Exceção é a OP24, onde se verifica um pico na diferença de temperatura em torno dos 80 m de profundidade que chega a aproximadamente 1,5 °C acima da média. Nas proximidades desta mesma profundidade, os perfis médios para os outros anos apresentam comportamento contrário a OP24. Nesse caso, há um pico que alcança valores de até 1°C abaixo da média climatológica. Em profundidade, a partir dos 250 m, a temperatura não ultrapassou a marca de 2 °C superior a registrada pelo WOA05. As OPs 26 e 27 são as que apresentaram maior desvio com relação a média, alcançando até 1,5 °C acima da média. A diferença de temperatura nas profundidades abaixo de 250 m para as outras OPs se manteve entre 0,5°C e 1 °C . Durante a OP21, no entanto, ocorreu uma média menor que a média histórica na região que compreende a CM para o mês de outubro (fig. 4.43 (a)).

O comportamento do perfil da diferença de temperatura entre as médias das OPS e a média climatológica se manteve similar a outubro (descrito acima) para o mês de novembro. Na camada superficial, porém, as diferenças de temperatura oscilam entre 1°C para mais e para menos em relação a média climatológica. As maiores variações também ocorreram próximo a superfície, chegando a 1,5 °C abaixo da média do WOA05 durante a OP25, por volta dos 80 m, enquanto que os outros anos têm temperatura inferior a média climatológica, próximo a esta profundidade. Abaixo de 250 m de profundidade, os perfis de diferença entre os valores de temperaturas para o mês de novembro (Fig. 4.43 (b)), tem forma semelhante aos do mês de outubro em profundidades superiores aos 250 m (fig. 4.43 (a)).

Em dezembro (Fig. 4.43 (c)), os valores da diferença de temperatura entre as médias das OP21 a 27 e a média climatológica, alcançam aproximadamente 4 °C abaixo da média registrada para o mês. Isso indica que no ponto amostrado, já houve o aquecimento das águas superficiais, causando essa diferença. O padrão de temperatura para maiores profundidades se manteve o mesmo para os meses analisados anteriormente. Para profundidades de até aproximadamente 100 m, as temperaturas médias obtidas a partir de

cada ano de OP foram maiores que a média histórica, para o ponto M. Exceção a isso foi a temperatura média para a OP21, que se manteve menor que a média climatológica ou muito próxima a essa. A partir dos 100 m de profundidade, a forma dos perfis de diferença de temperatura para os meses de novembro (Fig. 4.43 (b)) e dezembro (Fig. 4.43 (c)) são muito semelhantes, ambas mantendo o mesmo padrão descrito anteriormente.

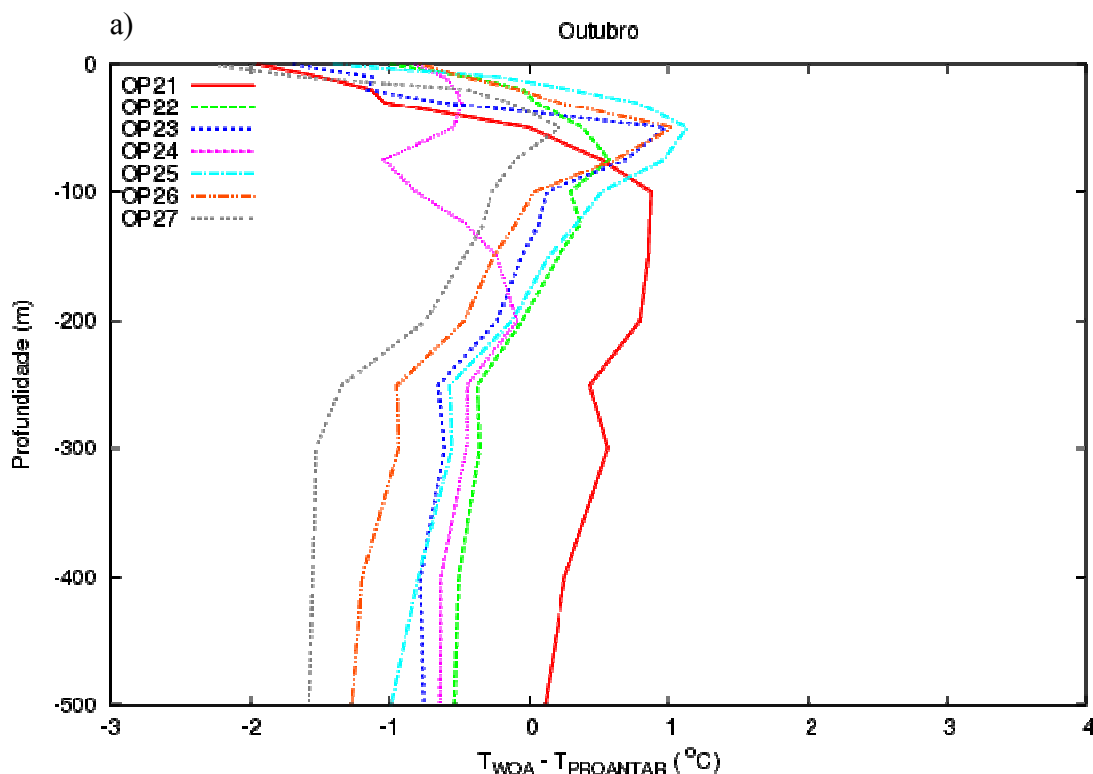


Figura 4.43: Diferença entre as médias de temperatura da CM com os dados das OPs e o ponto M com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

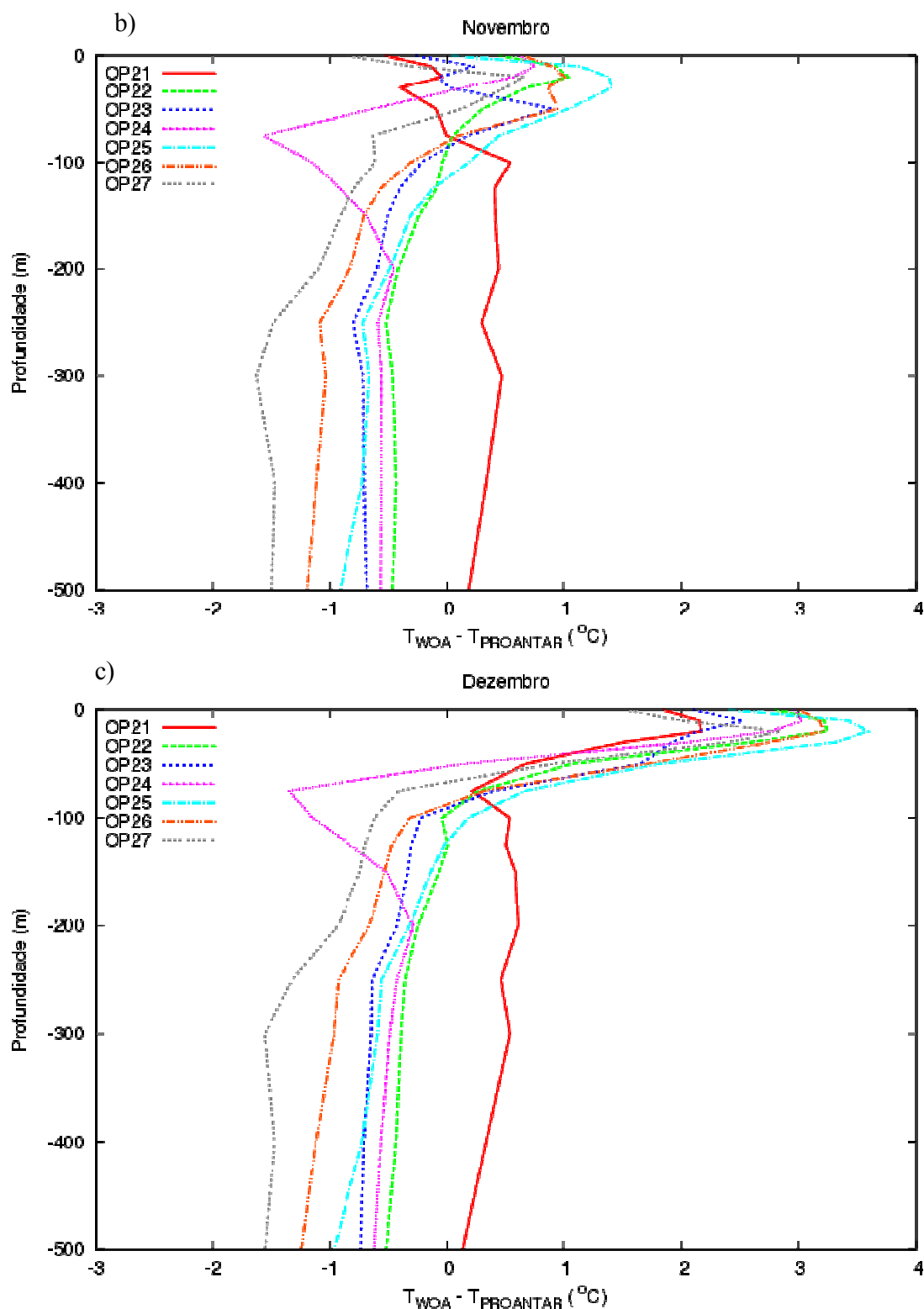


Figura 4.43: Diferença entre as médias de temperatura da CM com os dados das OPs e o ponto M com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (cont.)

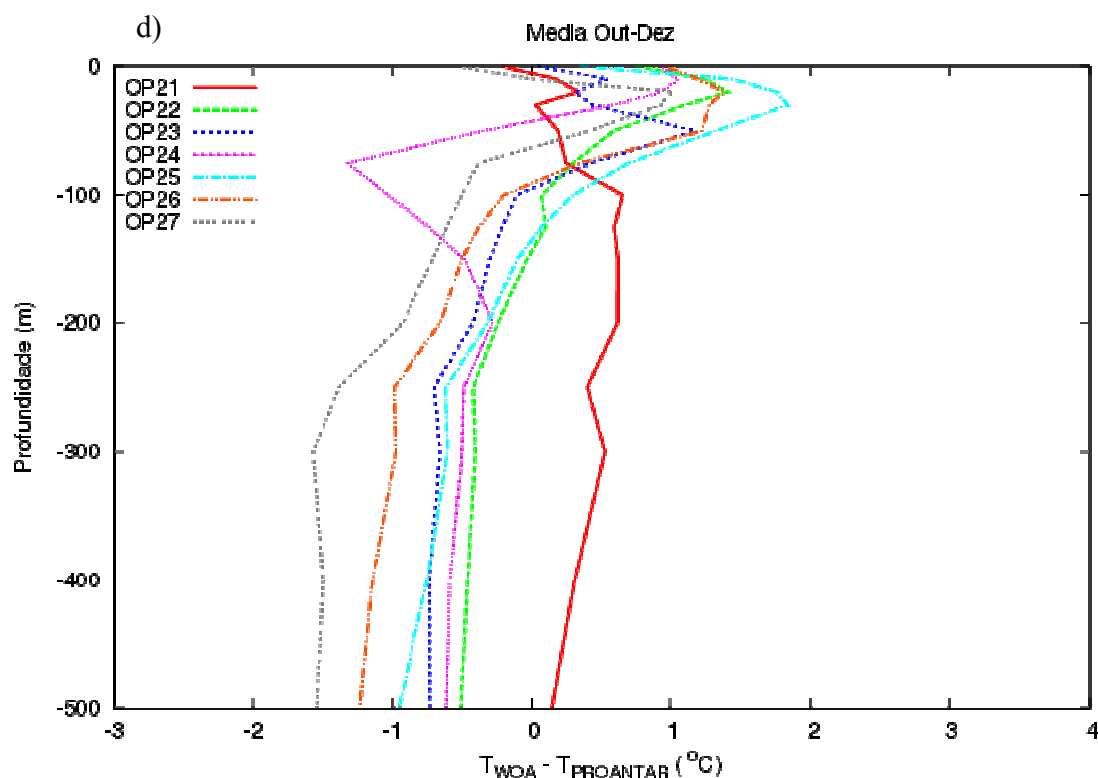


Figura 4.43: Diferença entre as médias de temperatura da CM com os dados das OPs e o ponto M com os dados do WOA05, em função da profundidade para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média entre outubro a dezembro. (Final)

A discussão acima pode ser melhor ilustrada analisando-se a Figura 4.44(a-d). As maiores diferenças positivas e negativas, entre as médias de temperatura obtidas durante as OPs e a média climatológica para o ponto M, se deram nos meses de dezembro (Fig. 4.44 (c)) e outubro (Fig. 4.44 (a)) respectivamente. As temperaturas médias para a CM, obtidas a partir dos dados coletados durante as OPs 21 a 27, se aproximam mais da média histórica do mês de novembro (Fig. 4.44 (b)). Tal resultado seria esperado uma vez que as OPs são realizadas, geralmente, no mês de novembro ou final de outubro, como já discutido anteriormente na Seção 4.5.1.

Essas variações podem ser explicadas pelo fato da localização em que foram feitas as amostragens durante as OPs. Os dados disponíveis do WOA05 são dados pontuais, obtidos em uma grade de  $1^\circ \times 1^\circ$  de latitude e longitude, e todo e qualquer ponto que se localizasse em qualquer região, desde que dentro desse quadrado, estaria incluído na média desse quadrado, o que causaria essa variação.

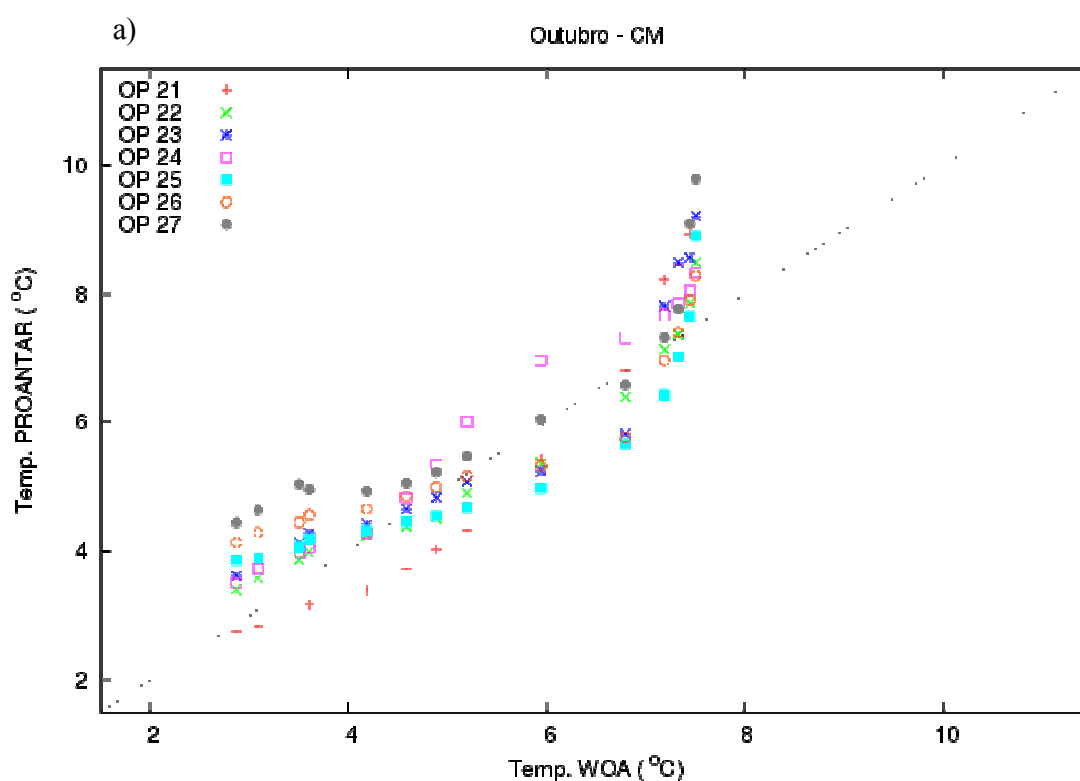


Figura 4.44: Temperatura média da CM com respeito a profundidade, das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto M, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (cont.)



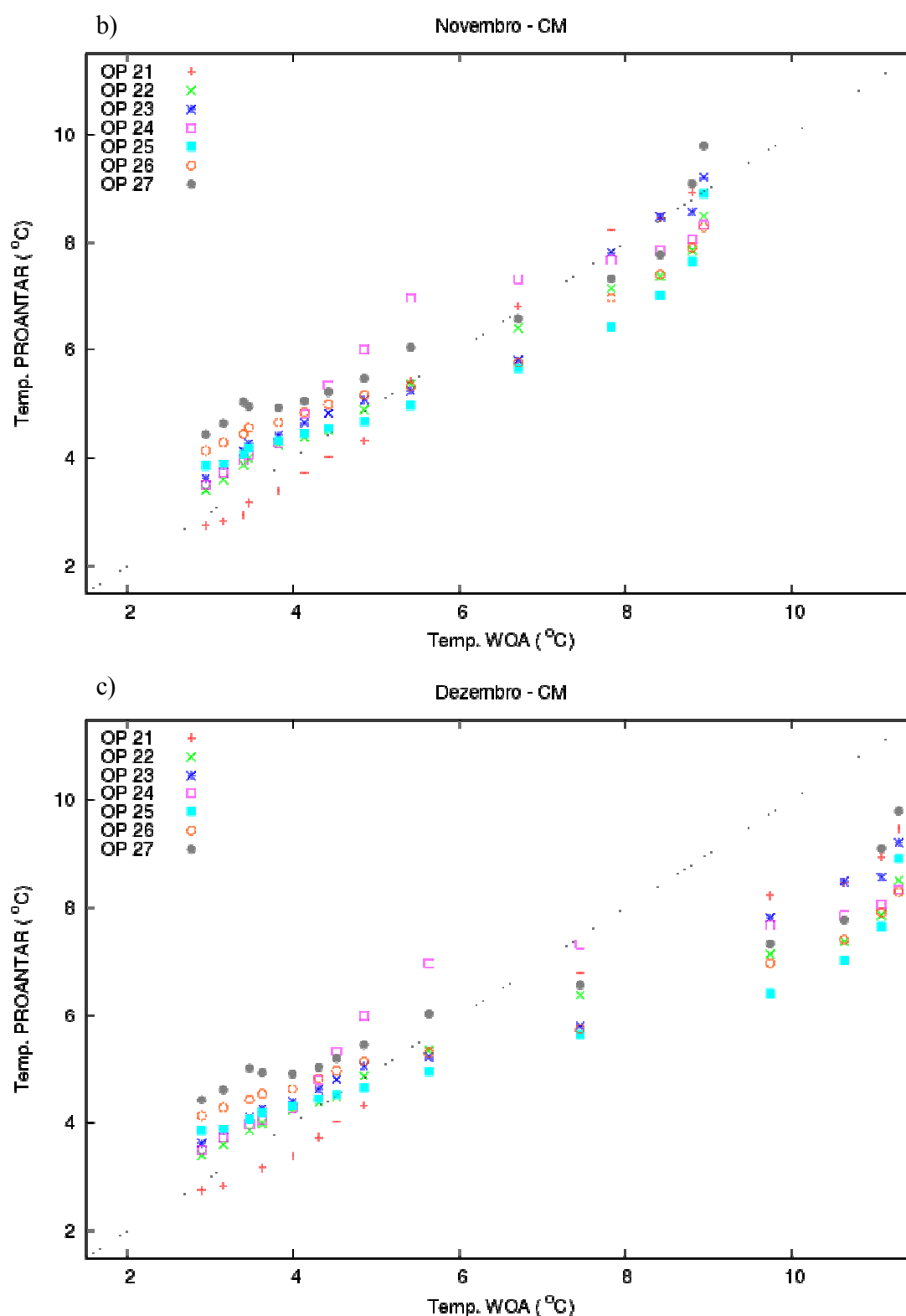


Figura 4.44: Temperatura média da CM com respeito a profundidade, das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto M, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (cont.)

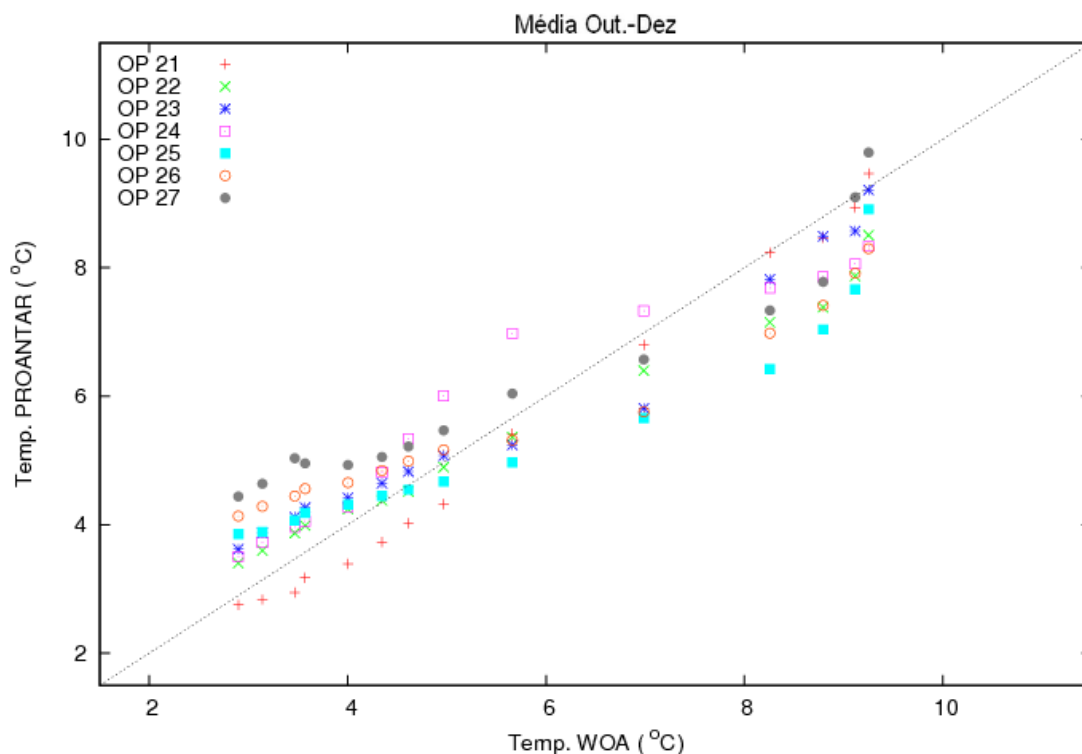


Figura 4.44: Temperatura média da CM com respeito a profundidade, das OP22 – OP27 versus a temperatura climatológica para o ponto M, para os meses de (a)outubro, (b)novembro, (c)dezembro e (d)média de outubro a dezembro. (cont.)

#### 4.4.3 Comparação da profundidade da termoclina obtida com os dados das OPs com os dados do WOA05

A Seção 4.4 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método para determinação da profundidade da termoclina, desenvolvido por Kara *et al.* (2000). A Figura 4.45 mostra que, durante todo o período analisado, a CM apresenta uma termoclina mais rasa e com menor variabilidade anual da sua profundidade típica. A CB, por outro lado, possui uma termoclina mais profunda que exibe grande variabilidade interanual.

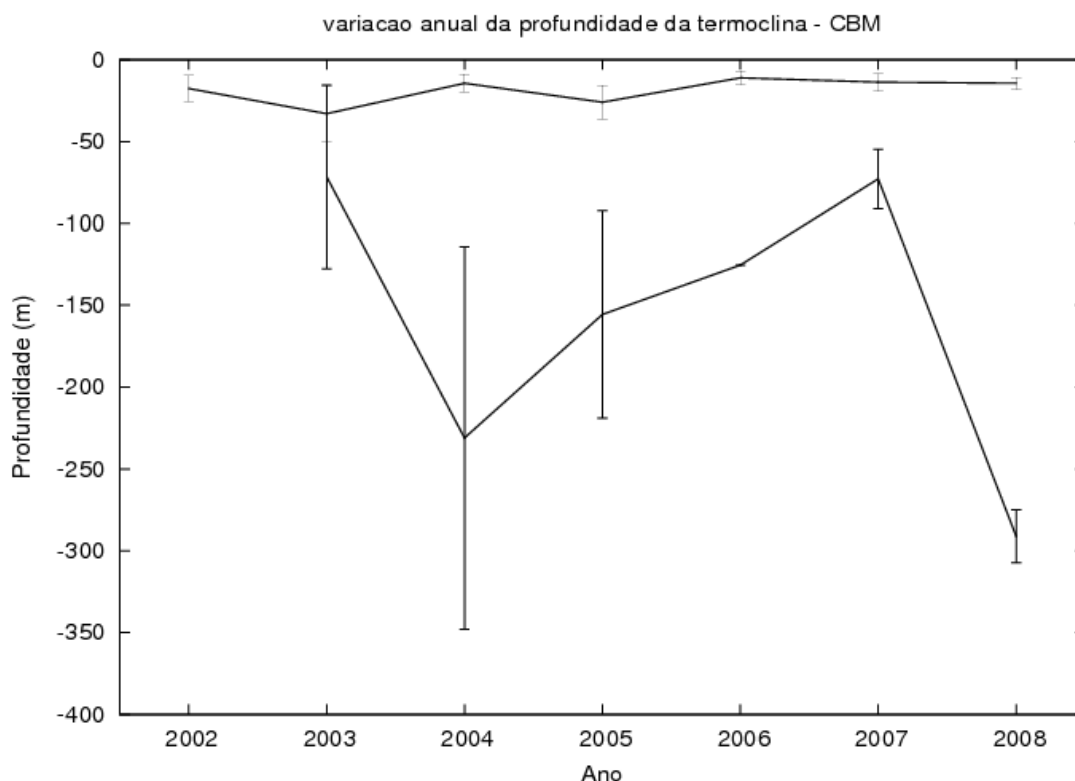


Figura 4.45: Variação anual da profundidade da termoclina para a região da CBM, calculada a partir de dados coletados durante as OP21 a 27. A linha inferior representa a variação da profundidade da termoclina da CB e a linha superior indica a variação anual para CM.

Na Tabela 4.1 é possível observar que a profundidade da termoclina para perfis, que representam a média climatológica da CB, é maior que a profundidade desta tanto para a região intermediara (onde ocorreram as coletas durante as OPs 22 e 26), quanto para a região da CM.

Observando os mapas climatológicos de TSM e as seções de alta resolução dos meses de outubro a dezembro da região da CBM, provenientes do WOA05 (Fig. 4.30 e Fig. 4.31), é possível observar que o ponto B está localizado em uma região a qual apresenta TSM superior a 16 °C (Fig. 4.30) e que não existe muita mistura da CB com a CM (Fig. 4.31), o que caracteriza uma região mais próxima do núcleo da CB. Consequentemente, este ponto possui uma termoclina mais profunda que os demais pontos analisados (Tabela 4.1). Com

base nesta informação e com a observação dos mapas de TSM de cada OP, vemos que nas OP23 e OP27 (Fig. 4.9 e Fig. 4.25, respectivamente) as estações de coletas de dados referentes à CB estão localizadas em uma região na qual a TSM é bem superior aos 16 °C. Isso indica da mesma forma, uma região em que as águas da CB não estão muito misturadas com as águas da CM. Por consequência disso, durante essas duas operações (OP23 e OP27) a termoclina apresenta-se mais profunda que nos demais anos.

Outro fato que dá mais solidez a esta conclusão é o fato das profundidades médias da termoclina nos perfis referentes a CB das OP22 e OP26 serem menores que as demais. Isso remete ao fato das estações terem sido realizadas em uma região de grande mistura entre a CB e a CM (conforme discutido anteriormente na Seção 4.3), por isso apresentando um perfil híbrido, com características da CB, em superfície, e características da CM em maiores profundidades.

A variação da profundidade média da termoclina para a região que compreende a CM, durante as OPs 21 a 27, não é muito grande. As oscilações interanuais são bem menores que as encontradas para a CB (Fig. 4.44). Esta pequena oscilação é também observada na profundidade da termoclina estimada a partir dos dados do WOA05 na região referente na CM (Tabela 4.1).

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Vários autores citam a região da CBM como uma das mais energéticas do mundo, com alta variabilidade tanto temporal como espacial (Chelton *et al.*, 1990). Neste trabalho foi proposto um estudo da estrutura termal em função da profundidade na região da CBM. Analisaram-se as variações de temperatura média das camadas mais superficiais até 760 m de profundidade bem como a profundidade da termoclina e, posteriormente compararam-se esses valores com médias climatológicas obtidas a partir do *World Ocean Atlas 2005* (WOA05).

A CB apresenta temperatura superficial média de aproximadamente 18 °C, com as maiores variações ocorrendo em um intervalo de 20 m a 40 m de profundidade, onde o desvio padrão é de 1,43 °C. Esse valor é similar ao encontrado com os dados do WOA05, onde a temperatura média superficial é de 17,3 °C e o maior desvio encontrado foi de 2,95 °C a aproximadamente 30 m de profundidade.

A CM se mostra mais uniforme com respeito a CB. Ela apresenta temperatura superficial média de aproximadamente 8,2 °C, com as maiores variações ocorrendo em um intervalo de 40 m a 60 m de profundidade, onde o desvio padrão é de 0,7 °C. Esse valor também é similar ao encontrado com os dados do WOA05, onde a temperatura média superficial foi de aproximadamente 8,2 °C e o maior desvio encontrado foi de 1,04 °C a aproximadamente 50 m de profundidade.

Temperaturas mais baixas foram encontradas durante as OP22 e OP26, apresentando valores variados entre 14 °C e 15 °C, respectivamente. Essa fato foi explicado por se tratar de estações realizadas em regiões de forte mistura e como consequência, os perfis adquirem características da CB (temperaturas mais altas) em superfície e características da CM como a profundidade da termoclina (71,5 m para 2003 e 72,8 para 2007) e temperaturas mais baixas (10 °C a 160 m) em maiores profundidades.

Por se tratar de uma região propensa a ação de fatores como instabilidades, regimes turbulentos, tensão de cisalhamento do vento, entre outros processos de trocas de propriedades, a camada superior dos oceanos sempre apresenta uma maior variação de temperatura, ao contrário das camadas mais profundas, cuja variação ocorre em diferentes escalas temporais, causadas, por exemplo, por ondas internas e movimentos quase geostróficos (Tomczak & Godfrey, 1994).

A profundidade média da termoclina para a CB com os dados das OPs foi de aproximadamente 191 m e, com os dados do WOA05 a profundidade foi de 168,2 para o mês de outubro, e para o mês de novembro, com este mesmo banco de dados, a profundidade encontrada foi de 95,1 m. A profundidade média da termoclina para da CM com os dados das OPs foi de 18,6 m, contra 21,9 m do mês de novembro obtido com os dados do WOA05. A diferença entre as profundidades da termoclina encontradas com os dados das OPs e os dados do WOA05 pode ter sido causada pela diferente resolução vertical dos bancos de dados, que pode ter passado despercebido pelo algoritmo desenvolvido por Kara *et al.* (2000).

A comparação entre as Operações Antárticas e os dados obtidos pelo WOA05 para os diversos meses estudados (outubro, novembro, dezembro e média entre os meses de outubro a dezembro) mostrou que os dados apresentam características similares as encontradas para o mês de novembro. Isso ocorre pelo fato dos cruzeiros realizados pelo NApOc Ary Rongel ocorrer geralmente em meados de outubro e início de novembro. Logo, os perfis se encontravam coerentes com a média entre os meses de outubro a dezembro.

Pode-se dizer que houve semelhança entre os valores de temperatura obtidos com as Operações Antárticas e aqueles obtidos com o WOA05. A existência de pequenas variações nesses perfis, principalmente em superfície pode ter ocorrido também em função da diferença do número de dados obtidos entre essas duas fontes, além de se tratar de uma região com muita instabilidade (Pezzi *et al.*, 2009).

O WOA05 é uma fonte de médias climatológicas criado em 1994 e desde então tem sido utilizado então no meio científico. Usar um Atlas de médias climatológicas para fazer um estudo a respeito das variabilidades de propriedades pode ser um método interessante, quando não se dispõe de condições de fazer amostragens locais, entretanto, esta não é uma metodologia recomendada para qualquer região do oceano global.

Ao utilizar os dados coletados *in situ*, como das OPs, por exemplo, capta-se os valores reais em uma região naquele exato momento, por outro lado, ao utilizar uma média climatológica (mensal, sazonal ou anual) vai existir uma limitação física, uma vez que a localização dos dados na região estão dispostas em uma grade de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  de latitude e longitude. Por se tratar de uma região altamente energética e com alta variabilidade temporal e espacial, que é a CBM, é inevitável que não haja diferenças de temperatura entre esses dois bancos de dados.

É imprescindível que as Operações Antárticas continuem a realizar amostragens ao longo da região da CBM. Entretanto, é fortemente recomendado que seja estipulado uma quantidade igual de sondas (XBT) disponível para cada ano de Operação e principalmente que os pontos de amostragem consigam capturar mais completamente as águas da CB e da CM, no sentido de que se realizem operações mais próximas do núcleo de cada uma das correntes. Isso evita variações sub ou superestimadas do valor real médio de temperatura no local.

## **CAPÍTULO 6**

### **TRABALHOS FUTUROS**

Muitos estudos são feitos sobre a camada limite atmosfera-oceano, medindo os fluxos de calor entre esses dois ambientes e sobre as estruturas de mesoescala (vórtices) existentes na região. Esse trabalho pode vir a servir como base para futuros estudos como, por exemplo, a influencia da profundidade da camada de mistura sobre a quantidade de calor trocado entre o Oceano Atlântico Sul e a atmosfera adjacente nas relações com altura do nível do mar e/ou conteúdo de calor e os fluxos existentes na interface oceano-atmosfera.



## REFERÊNCIAS

- ASSIREU, A. T. (2003) **Estudo da características cinemáticas e dinâmicas das águas de superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de derivadores rastreados por satélite.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 174p.
- BAPTISTA, M. C. (2000) **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo. 2000.
- BIANCHI A. A.; PIOLA A. R.; COLLINO G, J. (2002) Evidence of double diffusion in the Brazil–Malvinas Confluence. **Deep-Sea Res.** I 49: p. 41-52.
- BIANCHI, A. A.; GIULIVI C. F.; PIOLA, A. R. (1993) Mixing in the Brazil/Malvinas Confluence, **Deep-Sea Res.**, 40, 1345-1358.
- BROWN, J. (1998) *et al.* **Ocean Circulation.** England: The Open University, v.1.
- BROWNMAN, M. J.; ESAIAS, W. E. (Ed.) (1978) Oceanic Fronts in Coastal waters. **Proceedings...** the Netherlands: University of Utrecht, 158 p.
- CAMPOS, E. J. D; OLSON, D. B. (1991) Stationary Rossby waves in western boundary currents extensions. **J. of Phys. Oceanogr.**, Boston, n. 21, p. 1202-1224.
- CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; IKEDA, Y. (1995) Water Mass Structure and Geostrophic Circulation in the South Brazil Bight – Summer of 1991. **J. Geophys. Res.**, 100 (C9): 18537-18550.

- CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A. da; MIRANDA, L. B. (2006) Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI; C. L. Del B.; MADUREIRA, L. S. P. (eds.) **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. Edusp. p. 11-120.
- CHELTON, D. B., SCHLAX, M. G., WITTER, D. L., RICHMANN, J. G. (1990) GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **J. Geophys. Res.**, v. 95, p. 877-903.
- CHHAK K E DI LORENZO E. (2007) Decadal variations in the California Current upwelling cells, **Geophys. Res. Letts.**, v. 34. 6 p.
- CIRANO, M.; MATA, M. M.; CAMPOS, E. J. D.; DEIRÓ, N. F. R. (2006) A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação Global OCCAM. **Rev. Bras. de Geof.** v.24. p.209-230.
- da SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L.B. de & BROWN, W.S. (1994) On the Origin of the North Brazil Current. **J. Geophys. Res.**, v. 99. p. 22501-22512.
- da SILVEIRA, I. C. A.; SCHIMIDT, A. C. K. & CAMPOS, E. J. D. (2000) A Corrente do Brasil ao largo da Costa Leste Brasileira. **Brás. Oceanogr.**, v. 48. p. 171-183.
- de BOYER MONTÉGUT, C.; MADEC G.; FISCHER A. S.; LAZAR A.; IUDICONE D. (2004) Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. **J. Geophys. Res.** v. 109. p. C12003.1-C12003.20.
- DONG, B.; SUTTON R. T.; SCAIFE, A. A. (2006) Multidecadal modulation of El Nino-Southern Oscillation (ENSO) variance by Atlantic Ocean sea surface temperatures. **Geophys. Res. Letts.**, v. 33, p. L08705.1-L08705.4

- DOURADO, M.; SOUZA, R. B.; GARCIA, C. A. E.; MATA, M. M.; SATO, O. (2006) Estudo dos Fluxos Turbulentos na Região da Confluência Brasil-Malvinas. Anais do XIV Congresso brasileiro de meteorologia. **XIV Congresso brasileiro de meteorologia.**
- EMERY, W. J.; BRANDT, P.; FUNK, A.; BÖNING, C. (2006) A comparison of sea surface temperatures from microwave remote sensing of the Labrador Sea with in situ measurements and model simulations, **J. Geophys. Res.**, v.111, C12013, doi:10.1029/2006JC003578.
- EMILSSON, I. (1961) The shelf and coastal waters of southern Brazil. **Bolm Inst. oceanogr.**, v.7, n.2, p.101-112.
- EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. (1985) Vertical Structure of the Brasil Current. **Nature**, v. 135 (6014): p.48-50.
- Expendable Bathythermograph, Expendable Sound Velocimeter (XBT/XSV), Expendable Profiling Systems. Disponível em: <<http://www.sippican.com/stuff/contentmgr/files/0dad831400ede7b5f71cf7885fdeb110/sheet/xbtxsv92005.pdf>> Acesso em: 30 jan. 2009.
- FU, L. L. (1996) The circulation and its variability of the South Atlantic Ocean: first results from the TOPEX/POSEIDON mission. In: WEFER, G., BERGER, W. H., SIEDLER, G., WEBB, D. J. (Eds.), p. 63-82. **The South Atlantic: Present and past circulation.** Berlin, Springer-Verlag, 644 pp.
- GARCIA, C. A. E.; SARMA, Y. V. B.; MATA, M. M.; GARCIA, V. M. T. (2004) Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. **Deep-Sea Res.**, v.51, p. 159-171.

- GARZOLI, S.; GARRAFFO, Z. (1989) Transports, frontal motions and eddies at the Brazil-Malvinas Currents Confluence. **Deep-Sea Res.**, 36(5), p. 681-703.
- HASTENRATH, S. (1991) **Climate Dynamics of tropics**. Kluwer, Dordrecht. 488p.
- IKEDA, Y.; SIEDLER, G.; ZWIERZ, M. (1989) On the variability of southern ocean front locations between southern Brazil and the Antarctic peninsula. **J. of Geophys. Res.**, v. 94, p 4757-4762.
- KARA, A. B.; ROCHFORD, P. A.; HULBURT, H. E. (2000), An optimal definition for ocean mixed layer depth, **J. Geophys. Res.**, v.105(C7), p.16,803–16,821.
- LEGECKIS, R.; GORDON, A. L. (1982) Satellite Observations of the Brazil and Falkland Currents – 1975 1976 and 1978. **Deep-Sea Res.**, v. 29, p. 375-401.
- LENTINI, C. A. D.; SOUZA, R. B. (2005) Eddies e Vórtices de Mesoescala no Oceano Atlântico Sudoeste Medidos por Satélites. In: SOUZA, R. B (Ed). **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de textos. p. 166-178.
- LENTINI, C. A. D.; OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. (2002) Statistics of Brazil Current rings observed from AVHRR: 1993 to 1998. **Geophys. Res. Letts.**, v.29, n.16, p.58-1 – 58-4.
- LEVITUS, S. (1982) **Climatological Atlas of the World Ocean**. NOAA/ERL GFDL Professional Paper 13, Princeton, N.J., 173 pp.
- LOCARNINI, R. A.; MISHONOV, A. V.; ANTONOV, J. I. ; BOYER, T. P.; GARCIA, H. E. (2006) **World Ocean Atlas 2005, Volume 1: Temperature**. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 61, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 182 pp.

- LUKAS, R.; LINDSTROM, E. (1991) The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean. . **J. Geophys Res.**, v.96,p. 3343-3357.
- MAAMAATUAIAHUTAPU, K.; GARÇON, V.; PROSVOST, C.; MERCIER, H. (1998) Transports of the Brazil and Malvinas Currents at their Confluence. **J. of Marine Res.** V.56, pp. 417-438(22)
- MATANO, R. P.; GEORGE, S.; PHILANDER, H. (1993) Heat and Mass Balances of the South Atlantic Ocean Calculated From a Numerical Model. **J. Geophys Res.**, 98(C1), p977–984.
- MOREL, A.; André,J.-M. (1991) Pigment Distribution and Primary Production in the Western Mediterranean as Derived and Modeled From Coastal Zone Color Scanner Observations, **J. Geophys. Res.**, v.96(C7), p.12,685–12,698.
- Navio de Apoio Oceanográfico "ARY RONGEL". Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/gnho/naoaro.html>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. (1996) Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America, **J. Climate.**, v. 9, p. 2464– 2479.
- NOH Y.; LEE W. (2008) Mixed and Mixing Layer Depths Simulated by an OGCM. **J. of Oceanog.**, v. 64, p. 217 – 225.
- OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. G.; EVANS, R. H & BROWN, O. B. (1988) Temporal Variation in the Separation of Brazil and Malvinas Currents. **Deep-Sea Res.**, v. 35 (12): p. 1971-1990.
- PEREIRA, C. S.; MOURA, A. D.; MASCARENHAS JUNIOR, A. S. (1988) Balanço de energia na camada de mistura superior oceânica – uma revisão. **Rev. Bras. de Meteor.**, v.3, p.233-245.

- PETERSON, R. G. & STRAMMA, L. (1991) Upper-level Circulation in the South Atlantic Ocean. **Progr. Oceanogr.**, v. 26: p. 1-73.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R.B.; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; Mata, M.M., C. GARCIA, A. E.; de CAMARGO, R. (2009) Multiyear measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region, **J. Geophys. Res.**, 114, D19103, doi:10.1029/2008JD011379.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; DOURADO, M. S. ; GARCIA, A. E.; MATA, M. M.. (2005) Ocean-Atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas confluence region. **Geophys. Res. Letts**, v. 32, 4 p.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. (2009) Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. **Tempo e clima no Brasil**. CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.), Ed. Oficina de Textos, São Paulo. 463p.
- PICKARD, G. L.; EMERY, W. J. (1990) **Descriptive Physical Oceanography**, 5° ed., Pergamon Press, Oxford, 180 p.
- PICKARD, G. L. (1974) **Oceanografia Física Descritiva**, 2° ed., Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, 180 p.
- PINET, P. R. (2003.) **Invitation to Oceanography**. 3. ed. London: Jones and Bartlett Publishers International.
- PIOLA A. R.; MATANO R. P. (2001) Brazil and Falklands (Malvinas) Currents., In: STEELE H, THORPE SA E TUREKIAN K.K. (Eds.), **Encyclopedia of Ocean Sciences**. Londres, Reino Unido: Academic Press 1, p. 340 – 349.

- PROVOST, C., GARCIA, O.; GARÇON, V. (1992) Analysis of Satellite Sea Surface Temperature Time Series in the Brazil-Malvinas Current Confluence Region: Dominance of the Annual and Semiannual Periods, **J. Geophys. Res.**, 97(C11), p.17,841–17,858.
- RICHARDS, K. J.; GOULD, W. J. (1996) Ocean weather — eddies in the sea. In C. P. SUMMERHAYLES, & S. A. THORPE (Eds.), **Oceanography: An illustrated guide** (pp. 59– 68). London' Manson Publishing Ltd.
- Roden, G. I. (1964) Shallow temperature inversions in the Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, v. 69(14), p. 2899-2914.
- Ruddick B.R.; Richards, K. (2003) - Oceanic thermohaline intrusions: Observations - *Progress in Oceanography*, v. 56 (3-4), p. 499-527.
- RUSSO, L.; PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. (2008) Análise de observações in-situ na região da confluência Brasil – Malvinas. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia.*
- SARUKHANYAN, E. I. (1987) **Structure and variability of the Antarctic Circulumpolar Current.** New Delhi, India, A.A. Balkema/Rotterdam, Russian Translations Series N° 44, 108p.
- SAUNDERS, P. M.; KING, B. A. (1995) Bottom currents derived from a shipborne ADCP on WOCE cruise A11 in the South Atlantic. **J. Phys. Oceanogr.**, v.25, p.329–347.
- SIGNORINI, S. R.; GARCIA, V. M. T.; PIOLA, A. R.; GARCIA, C. A. E.; MATA, M. M.; McCLAIN, C. R. (2006) Seasonal and interannual variability of calcite in the vicinity of the Patagonian shelf break (38°S–52°S), **Geophys. Res. Lett.**, 33, L16610, doi:10.1029/2006GL026592.

- SOUZA, R. B.; PEZZI, P.P.; CAMARGO, R.; MORAES, L.E.; TODESCO, E.; SOPPA, M.A.; RUSSO, L. (2008) **Estudo da interação oceano-atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas e sua relação com processos oceânicos e atmosféricos subantárticos e antárticos - INTERCONF**. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Santa Maria, RS: [S.I.], 69 p. Relatório Final.
- SOUZA, R.B., MATA, M.M., GARCIA, C.A.E., KAMPEL, M., OLIVEIRA, E.N., LORENZZETTI, J.A. (2006) Multi-sensor satellite and *in situ* measurements of a warm core eddy south of the Brazil-Malvinas Confluence region. **Remote Sensing of Environment**, v. 100. p. 52-66.
- SOUZA, R. B. (2005) (Org.) **Oceanografia por satélites**. 1. Ed. Oficina de Textos. São Paulo. 336p.
- SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. (2004) Satellite and langrangean observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, [S. I.], n. 24, p. 241-262.
- SOUZA, R. B. (2000) **Satellite and lagrangian observations of mesoscale surface processes in the southwestern Atlantic Ocean**. Doctor of Philosophy. Faculty of Science and Oceanography. University of Southampton. 238p.
- SARACENO, M; PROVOST, C.; PIOLA, A. R.; BAVA, J.; GAGLIARDINI, A. (2004) Brazil Malvinas Frontal System as seen from 9 years of advanced very igh resolution radiometer data, *J. Geophys. Res.*, V.109(C05027), doi:10.1029/2003JC002127.
- SPINTALL, J.; TOMCZAK, M. (1992) Evidence of the Barrier Layer in the Surface Layer of the Tropics, **J. Geophys. Res.**, V.97(C5), P7305–7316.
- STEWART, H. S. (2004) **Introduction to physical oceanography**. Texas: Texas A&M University. Digital.



STOMMEL, H. (1965) **The Gulf Stream: a physical and dynamical description.**  
University of California Press, 248p.

STRAMMA, L. (1991) Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. **J. Mar. Res.**, 49:281-294.

THADATHIL, P.; GHOSH, A. K.; PATTANAIK, J.; RATNAKARAM, L. (1998) A Quality-Control Procedure for Surface Temperature and Surface Layer Inversion in the XBT Data Archive from the Indian Ocean. *J. Atm. and Oceantech*, v.16, p. 980- 982.

THADATHIL, P.; GHOSH, A. K.; SARUPRIA, J. S.; GOPALAKRISHNA, V. V. (2001) An interactive graphical system for XBT data quality control and visualization. **Computers & Geosciences**, v. 27. p. 867-876.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S. (1994) **Regional Oceanography: An Introduction.**  
London: Pergamon Press. 422 p.

WALLUDA, C. M.; TRATHAN, P. N., H. J.; RODHOUSE, P. G. (1999) Influence of oceanographic variability on recruitment in the *Illex argentinus* (Cephalopoda: ommastrephidae) fishery in the South Atlantic. **Mar. Ecol. Prog.**, ser.183, p. 159-167.

WÜST, G. (1935) Die stratosphäre des Atlanthischen Ozeans. **Wissenschaftliche ergebnisse de Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs und Vermessungsschiff, Meteor 1928-1927**, Gruyter & Co., 6(1), p.109-288.

